



**Universidade de Aveiro**  
**2018**

Departamento de Engenharia Mecânica

**RUI MIGUEL SILVA  
OLIVEIRA**

**CASO DE ESTUDO: OTIMIZAÇÃO DE  
PRODUÇÃO DE UMA CADEIRA DE  
SEGURANÇA PARA BEBÉS.**





**RUI MIGUEL SILVA  
OLIVEIRA**

**CASO DE ESTUDO: OTIMIZAÇÃO DE  
PRODUÇÃO DE UMA CADEIRA DE  
SEGURANÇA PARA BEBÉS.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica da Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e tutoria do Engenheiro Vítor Hugo de Matos Pereira Neves, Diretor Comercial da Moldit – Indústria de Moldes S.A.



## O júri

Presidente

**Professor Doutor Rui António da Silva Moreira**

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Arguente

**Doutor Mário António Simões Correia**

Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Leiria –  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Orientador

**Professora Doutora Mónica Sandra Abrantes de  
Oliveira Correia**

Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro



## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer em primeiro lugar à minha orientadora, Professora Mónica Oliveira, pela sua disponibilidade, empenho, sugestões e críticas construtivas para a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Vítor Neves, pela integração, compreensão, preocupação e partilha de conhecimento.

À Sara, por todo o apoio e carinho dado durante todo o meu percurso académico.

Aos meus amigos, Luís Paradinha, Miguel Carvalho e Francisco Alçada.

Um especial agradecimento aos meus pais, por todo o sacrifício, incentivo, compreensão, amor e apoio incondicional desde sempre, sem os quais não teria chegado aqui.

Obrigado a todos.





## Palavras-chaves

Injeção por moldação, SMED, Taguchi, 5S's, polímeros.

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo o estudo e análise da produção de uma cadeira de segurança para bebês, pretendendo-se estabelecer uma metodologia conducente à otimização das condições de processamento e da qualidade de peça, atualmente em produção na Moldit, S.A. De modo a cumprir com o objetivo do trabalho, procedeu-se a uma análise experimental, tendo-se, no entanto, efetuado um desenho de experiências por recurso ao método de Taguchi. Assim, procedeu-se ao estudo da influência dos parâmetros de injeção na qualidade final da peça. Como parâmetros de controlo foram considerados a velocidade de injeção, a temperatura do molde, o tempo de manutenção e a temperatura de injeção com a finalidade de aferir a dependência dos mesmos no aparecimento de peças não conforme. A análise do estudo levado a efeito, permitiu concluir que, na peça em estudo, a temperatura do molde tem um papel preponderante em defeitos de fabrico associados a controlo dimensional e falta de homogeneização de brilho na peça. Utilizaram-se ainda metodologias *lean*, nomeadamente, *SMED* e *5S's*, com intuito de instituir no processo industrial instrumentos de melhoria contínua, nomeadamente ferramentas computacionais de gestão de produção e diminuição dos tempos associados ao *setup* de ferramentas moldantes, tendo-se, nesta última, conseguido contabilizar ganhos efetivos na ordem dos 67%.



**Keywords**

Injection molding; SMED; Taguchi; 5S's; Polymers.

**Abstract**

The objective of this work is to study and analyze the production of a baby safety seat, currently in production at Moldit, SA , and establish a methodology that leads to the optimization of the processing conditions and the part quality. The aim of the study was to carry out an experimental analysis, with a design of experiments using the Taguchi method. Thus, the influence of the injection parameters on the final quality of the part was studied. As control parameters were considered the injection speed, mold temperature, maintenance time and injection temperature in order to review their influence on the appearance of nonconforming parts. This study led to the conclusion that the mold temperature plays a predominant role in manufacturing defects associated with dimensional control and lack of homogenization of gloss in the part. During this work were also used lean methodologies, namely SMED and 5S's, in order to institute in the industrial process instruments of continuous improvement, namely computational tools of production management and production control and the reduction of the time associated with the setup of molding tools, achieving effective gains by 67%.



# Índice

Índice.....	i
Índice de Figuras .....	iii
Índice de Tabelas .....	v
1. Introdução e objetivos do trabalho .....	1
1.1. Estrutura do trabalho.....	2
2. Fundamentos teóricos.....	3
2.1. Processo de injeção por moldação de termoplásticos .....	3
2.1.1. Polímeros.....	6
2.1.2. Máquina de injeção.....	13
2.1.3. Molde .....	15
2.1.4. Equipamento auxiliar .....	16
2.1.5. Condições de processamento .....	17
2.2. Defeitos de peças obtidas em moldação por injeção .....	21
2.3. Método Taguchi .....	22
2.4. <i>Lean</i> .....	25
2.4.1 Metodologias <i>Lean</i> aplicadas.....	26
3. Metodologia de trabalho.....	31
3.1. Definição do caso de estudo.....	31
3.2. Requisitos funcionais .....	33
3.3. Ensaio experimental .....	34
3.3.1. Assinatura de qualidade.....	38
3.3.2. Fatores de ruído .....	39
3.3.3. Procedimento experimental .....	40
4. Análise experimental/Discussão.....	43
4.1.1. Implementação dos 5S.....	48
4.1.2. Implementação do SMED.....	50
4.1.2.1. Formação juntos dos colaboradores .....	50
4.1.2.2. Aplicação das técnicas de SMED .....	51
4.1.2.3. Resultados da implementação SMED.....	53
4.1.3. Otimização do fluxo de informação da produção.....	54
5. Conclusões e sugestões .....	57

6. Referências Bibliográficas.....	59
Anexos.....	61

# Índice de Figuras

Figura 1 - Ciclo de moldação (Adaptado de [1]) .....	4
Figura 2 - Fecho molde [1] .....	4
Figura 3 - Injeção [1] .....	4
Figura 4 - Pressurização [1] .....	5
Figura 5 - Plasticização/Arrefecimento [1] .....	5
Figura 6-Monómero [1] .....	6
Figura 7-Polímero [1] .....	6
Figura 8 - Efeito da massa molecular (Adaptado de [4]) .....	7
Figura 9 - (a) Estrutura do termoplástico amorfo [1]; (b) Estrutura do termoplástico semicristalino [1] .....	8
Figura 10 - Curva volume específico (Adaptado [3]) .....	9
Figura 11 - Influência da temperatura e da deformação na viscosidade no escoamento de PP [Fonte: Software Modflow]. .....	11
Figura 12 - Estrutura química do PP [15] .....	12
Figura 13 - Exemplo de máquina de injeção hidráulica (Adaptado de [1]) .....	13
Figura 14 - Parafuso sem-fim (Adaptado de [1]) .....	14
Figura 15 - Molde de duas placas (Adaptado de [1]) .....	15
Figura 16 - Molde de três placas (Adaptado de [1]) .....	16
Figura 17- Circuito de refrigeração .....	17
Figura 18 - Espessura de material solidificado [2] .....	18
Figura 19 - Esquema representativo do sistema [15] .....	23
Figura 20 - 5S [17] .....	27
Figura 21 - SMED [16] .....	29
Figura 22 - Imagem 3D da cadeira de bebé (SolidWorks) .....	32
Figura 23 - Peça incompleta.....	32
Figura 24 - Aparecimento de brilho .....	33
Figura 25 - Dimensão entre encaixe (cota índice) .....	34
Figura 26 - Máquina de injeção Krauss Maffei 1600 .....	36
Figura 27 - Postiço de Liga de alta condutividade térmica .....	37
Figura 28 - Perfil da velocidade.....	37
Figura 29 - Perfis de velocidades .....	41
Figura 30 - Gráfico de análise da variância .....	45
Figura 31 - Gráfico de análise da variância para o aparecimento de brilhos .....	46
Figura 32 - Exemplos de implementação dos 5S .....	49
Figura 33 - Levantamento de dados .....	52
Figura 34 - Nível digital com íman .....	53
Figura 35 - Registo de informações .....	55
Figura 36 - Painel do Mattec.....	56
Figura 37 - Painel de gestão com informação em tempo real.....	56
Figura 38 - Distribuição F de Snedecor a 5%.....	64





# Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela de análise de variância .....	24
Tabela 2 - Características da máquina injetora KraussMaffei 1600 .....	35
Tabela 3 - Propriedades do PHC26 .....	38
Tabela 4 - Análise de qualidade .....	39
Tabela 5 - Condições de processamento recomendadas do PHC26 [21]. .....	41
Tabela 6 - L9 Taguchi .....	42
Tabela 7 - Médias para cada ensaio.....	43
Tabela 8 - Desvio percentual da dimensão entre encaixe .....	44
Tabela 9 - Aparecimento de brilhos.....	45
Tabela 10 - Peças incompletas.....	47
Tabela 11 - Tempo de setup .....	54
Tabela 12 - Tempo de setup vs. custos.....	54
Tabela 13 - Folha de pré-preparação.....	61
Tabela 14 - Folha de Procedimento .....	63



# 1. Introdução e objetivos do trabalho

A indústria de polímeros é, atualmente, uma das mais preponderantes indústrias à escala mundial, sendo responsável pelo fabrico de inúmeros produtos em diversos setores de atividade.

Um dos métodos produtivos mais comuns é a injeção de termoplásticos. Esta, é uma técnica bem enraizada à escala industrial visto ser um processo de grande versatilidade geométrica e dimensional, facilmente automatizável, com a possibilidade de se obterem excelentes acabamentos superficiais e de garantir tolerâncias dimensionais apertadas [1,2].

No âmbito da unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, foi realizado o presente trabalho em parceria com a Moldit- Indústria de moldes S.a.

A Moldit, é uma empresa que se dedica à produção de componentes poliméricos para as mais variadas áreas. O trabalho aqui levado a efeito incidiu sobre o estudo de um produto de puericultura, uma cadeira de segurança para bebés produzida em Polipropileno.

O produto em questão foi selecionado pela empresa precisamente por ser um caso onde existia uma grande taxa de rejeição, devido a fatores como a ocorrência de peças incompletas, com diferenças de brilhos e dificuldade na estabilidade dimensional.

No sucesso da moldação por injeção, são determinantes as elevadas cadências de produção e a fiabilidade do processo. Dada a quantidade de variáveis inerentes ao processamento da matéria prima, juntamente com a variabilidade das características intrínsecas à mesma e à própria construção do molde, existe uma grande dificuldade em criar um processo estável, que permita obter produtos livres de defeitos ininterruptamente.

O principal objetivo do presente trabalho prende-se com o estudo do processo e a identificação de variáveis e parâmetros de injeção que influenciam o processamento e ditam o aparecimento de peças não conforme.

Além do objetivo principal, pretende-se implementar metodologias conducentes à gestão e controlo da produção seguinte as metodologias intrínsecas ao SMED, 5's que passa pela instalação de um sistema de controlo da produção.

## 1.1. Estrutura do trabalho

Este relatório de estágio está dividido em cinco capítulos, cada um com vários subcapítulos.

Durante o primeiro capítulo são definidos os objetivos deste relatório, demonstrando como surgiu a oportunidade e os motivos que levaram à realização deste trabalho.

No segundo capítulo é realizada uma revisão bibliográfica no que respeita a moldação por injeção, seus equipamentos e ferramentas moldantes. Nesse mesmo capítulo é ainda descrito o estado de arte no que se refere à otimização do processo de fabrico bem como às relações causais entre variáveis e parâmetros de processo conducentes a melhoria contínua do processo de fabrico. Refere-se ainda a filosofia *Lean* e os princípios base que suportam esta ideologia, dando-se especial atenção às ferramentas aplicadas no projeto.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de trabalho seguida durante o período de estágio. São apresentadas as características que o produto deve apresentar e ainda os defeitos que habitualmente são identificados pelo departamento de qualidade da Moldit. Ainda neste capítulo é apresentado o procedimento experimental realizado para análise dos fatores com influência no produto.

No quarto capítulo, é efetuada a análise e discussão dos dados obtidos no ensaio experimental bem como a exposição das metodologias *Lean* aplicadas durante o estágio.

No quinto capítulo, abordam-se os resultados obtidos, e retiram-se algumas conclusões sobre o trabalho desenvolvido, propondo-se trabalhos futuros.

## 2. Fundamentos teóricos

Durante este segundo capítulo será efetuada uma revisão bibliográfica holística do processo de injeção de termoplástico e os defeitos nas peças obtidas.

Apresenta-se também uma breve revisão sobre metodologia de otimização do processo de moldação por injeção e toda gestão envolvente ao processo, com especial atenção nas metodologias aplicadas nesta dissertação como o SMED, 5's e Método de Taguchi.

### 2.1. Processo de injeção por moldação de termoplásticos

O processo de moldação por injeção foi patenteado em 1872 pelos irmãos Hyatt (EUA) [3].

Inicialmente desenvolvido para a transformação de resinas termoendurecíveis, nomeadamente as de ureia-formaldeído (comercialmente conhecida por baquelite), o processo teve um enorme desenvolvimento com o advento dos materiais termoplásticos que se verificou após a Segunda Guerra Mundial [3].

Atualmente, a moldação por injeção é um dos principais processos de transformação de materiais de base polimérica, com enorme importância nos grandes mercados consumidores. [2]

O grande sucesso desta tecnologia deveu-se ao método de transformação rápida e de fácil automação, pelo que permite obter elevadas cadências de produção a custos relativamente baixos. Para além disso, destaca-se a sua capacidade de produzir peças de geometrias complexas com quase todo o tipo de dimensões e bom acabamento de superfície, garantindo uma grande reprodutibilidade e precisão dimensional [2].

O conjunto de operações necessárias à produção de uma moldação designa-se por ciclo de moldação.

Na indústria o objetivo é produzir peças, conforme as respetivas especificações, no tempo mais curto possível e consequentemente, com os menores custos associados.

A otimização do ciclo de moldação é, pois, fundamental para assegurar a competitividade económica do processo. O ciclo mencionado encontra-se representado na Figura 1, as diferentes fases que o compõem são explicitadas de seguida.

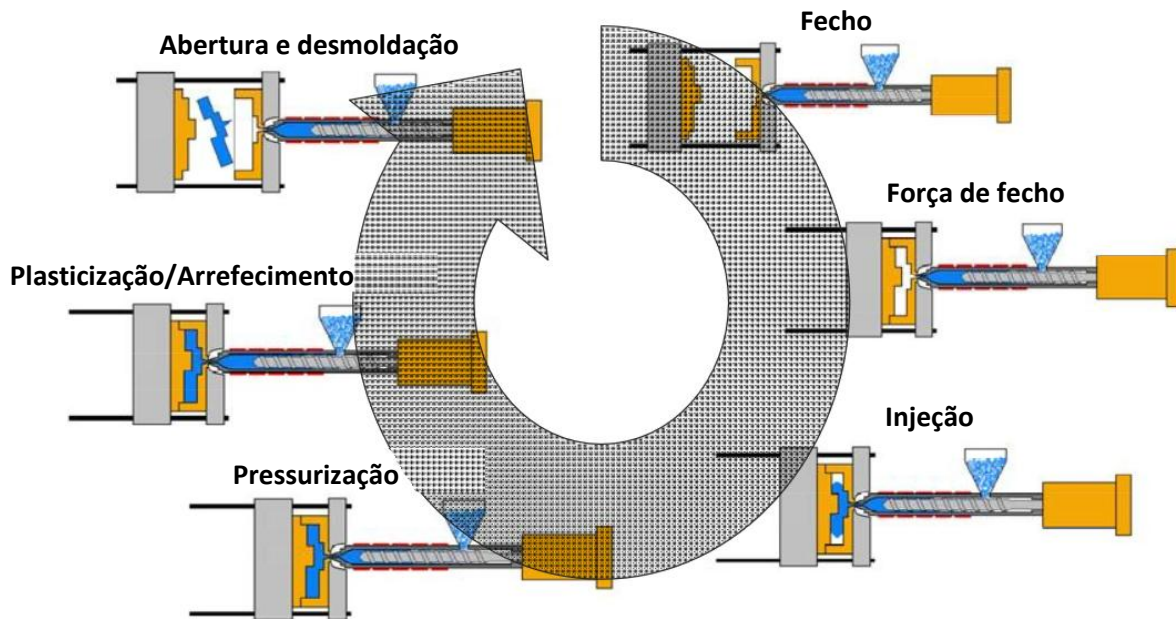


Figura 1 - Ciclo de moldação (Adaptado de [1])

**Fecho:** Esta operação corresponde ao início do ciclo e tem de ser tão rápida quanto possível. No entanto, existem limitações quanto à diminuição do tempo desta operação, como a inércia da massa metálica do conjunto molde/pratos da máquina, a necessidade do encosto entre partes do molde ser suave para evitar danificação das superfícies de ajustamento e eventuais movimentos internos [1,2,3].

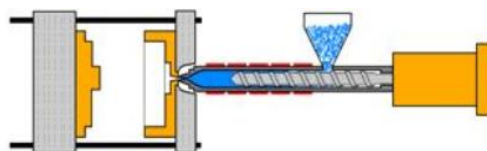


Figura 2 - Fecho molde [1]

**Injeção:** A injeção, é garantida pelo avanço linear do fuso, e só se pode iniciar com o bico de injeção encostado ao molde.

A velocidade e pressão de injeção são alguns parâmetros a otimizar nesta operação [2].

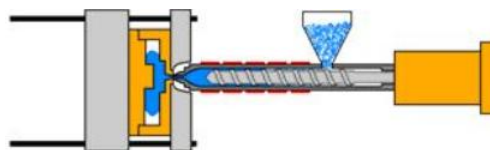


Figura 3 - Injeção [1]

**Pressurização:** Esta operação também designada por segunda pressão é a fase posterior ao enchimento do molde. Para que o efeito da contração seja compensado, é necessário pressurizar a moldação.

O ajuste do valor de pressão e o tempo que esta é aplicada é de extrema importância uma vez que, quando mal efetuado, pode induzir tensões internas à peça, assim como comprometer a sua extração [1].

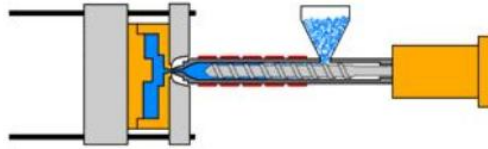


Figura 4 - Pressurização [1]

**Plasticização:** Momento em que o parafuso recua para iniciar a plasticização do material para a injeção seguinte. Esse momento acontece quando a zona de ataque à peça já se encontra solidificada. Esta etapa é efetuada em paralelo com o tempo de arrefecimento [1,2,3].

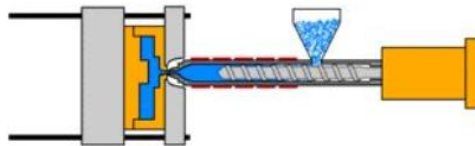


Figura 5 - Plasticização/Arrefecimento [1]

**Arrefecimento:** Inicia-se a partir do momento em que há contato do material fundido e as paredes moldantes. Esta fase termina quando a peça ganhar rigidez suficiente para ser extraída [1].

**Abertura e Extração:** Esta operação tal como o fecho do molde, tem de ser executada o mais rápido possível. Hoje em dia é cada vez mais frequente o uso de dispositivos auxiliares para a extração da peça para garantir um elevado grau de automatização do processo [1,2,3].

A otimização do ciclo de injeção, bem como a qualidade da moldação assenta na combinação ótimas de vários fatores para obter o produto final tais como:

- Polímero;
- Máquina de injeção;
- Molde;
- Equipamento auxiliares;
- Condições de processamento.

Nas próximas as seções será efetuada uma abordagem a cada um destes assuntos.

### 2.1.1. Polímeros

O polímero é uma macromolécula, figura 7, composta por várias moléculas idênticas unidas, os monómeros, figura 6. O processo de conversão de monómeros em polímeros é chamado de polimerização [1,4].

As substâncias-fonte para produtos poliméricos são o petróleo bruto, gás natural ou carvão, como transportadora de carbono [1].



Figura 6-Monómero [1]



Figura 7-Polímero [1]

O aumento do número de monómeros que compõem a macromolécula faz com que o peso molecular aumente. A massa molecular no processo de moldação por injeção tem uma forte importância, visto que o aumento da massa molecular é necessário para obtenção das propriedades mecânicas desejadas. De notar, no entanto, que o aumento da massa molecular provoca um aumento da viscosidade do polímero, figura 8 [4].

Existem três classes de polímeros, os elastômeros, os termoendurecíveis e os termoplásticos. No âmbito desta dissertação será dado especial ênfase ao estudo dos termoplásticos.



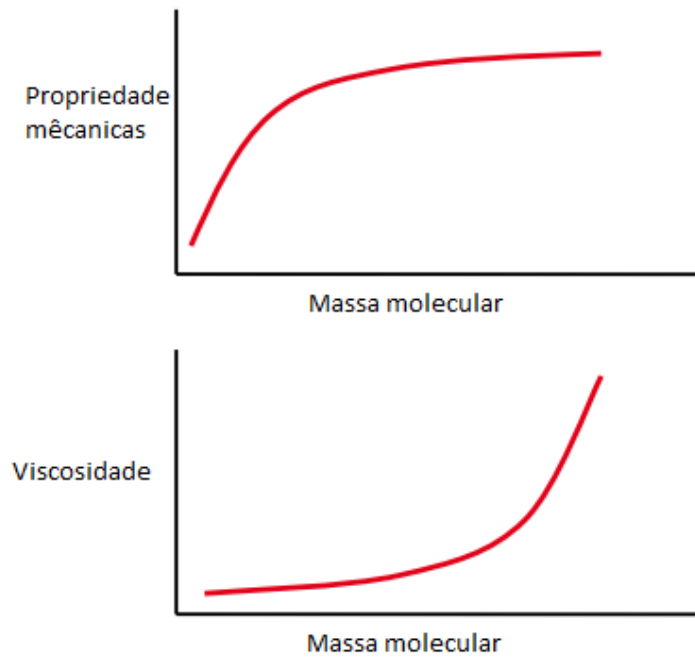


Figura 8 - Efeito da massa molecular (Adaptado de [4])

## Termoplásticos

A facilidade de moldação dos termoplásticos fundidos, consolidando a sua forma através do arrefecimento aliado à sua reciclabilidade e baixo custo de processamento, tem sido a principal razão para o enorme sucesso deste material [6].

O conhecimento das características dos termoplásticos é, pois, imprescindível para se compreender o seu comportamento durante o processamento por moldação por injeção.

Em termos estruturais, podem-se dividir os termoplásticos de acordo com o tipo de ligação molecular em dois grupos: os amorfos e os semicristalinos. Nos amorfos, representados na figura 9 (a), as moléculas estão presentes aleatoriamente sem qualquer tipo de estruturada ou organização. Nos semicristalinos, figura 9 (b), estes, apresentam regiões amorfas onde não existe nenhuma organização estrutural e, as regiões onde as moléculas estão organizadas de maneiras altamente estruturada, são designadas de cristalinas [4,5].

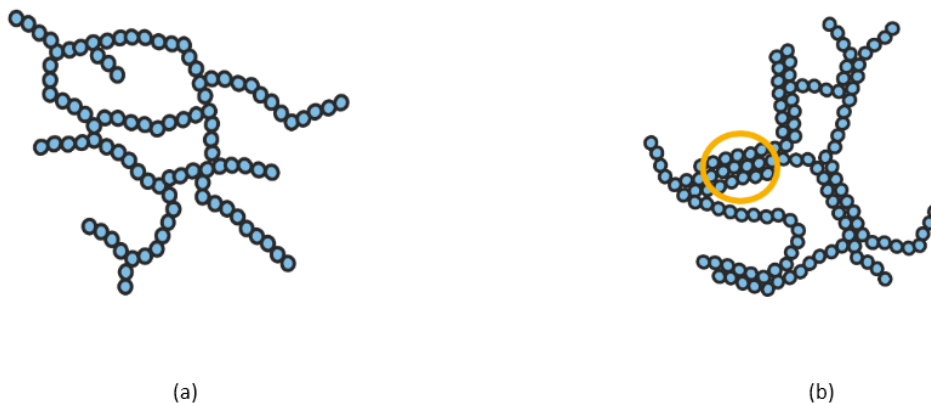


Figura 9 - (a) Estrutura do termoplástico amorfo [1]; (b) Estrutura do termoplástico semicristalino [1]

## Cristalinidade

A cristalinidade, é uma característica dos termoplásticos semicristalinos. Durante o arrefecimento, formam-se zonas cristalinas rodeados por zonas amorfas. O grau de cristalinidade refere-se à percentagem de cristalinidade presente no termoplástico, sendo que o aumento de cristalinidade conduz a um aumento de densidade, rigidez, resistência à tração, e resistência a solventes [2,4].

Consoante a sua estrutura, existem diversas diferenças em termos de processamento entre os termoplásticos amorfos e semicristalinos. No que aos amorfos diz respeito, com o aumento da temperatura tendem a amaciar, sendo que quando atingem a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), a sua mobilidade aumenta drasticamente. Porém, os semicristalinos apesar de aumento do volume específico com o aumento da temperatura, têm um ponto de fusão bem definido ( $T_f$ ), correspondendo ao ponto de desagregação das estruturas cristalinas, ocorrendo uma variação brusca do volume específico devido à desagregação das estruturas cristalinas. Essas alterações podem ser descritas em termos de volume livre intermolecular como se apresenta na figura 10 [2,3].

O grau de cristalinidade afeta outros fatores como as propriedades térmicas do termoplástico.

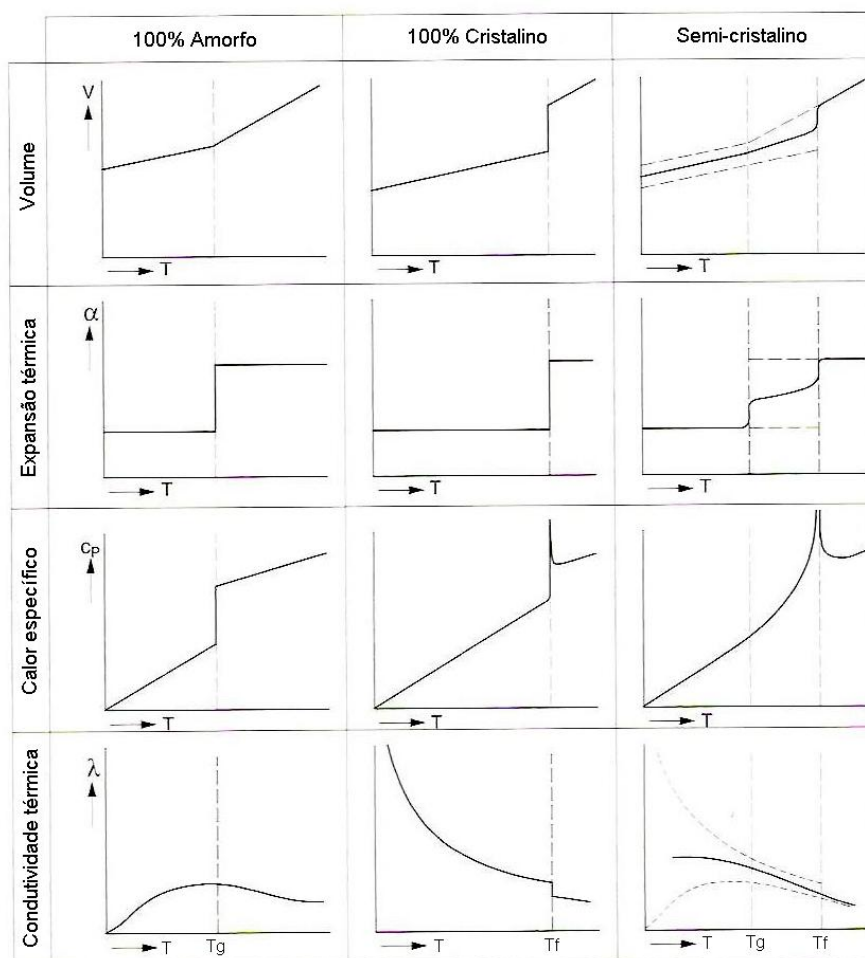


Figura 10 - Curva volume específico (Adaptado [3])

## Transições térmicas

As propriedades do produto final são influenciadas pelas transições térmicas durante o processamento, tanto durante o aquecimento como durante o arrefecimento sofrido pelo polímero.

### Aquecimento

Assim, durante o aquecimento, os compostos poliméricos variam consideravelmente no que concerne a quantidade de energia necessária para que atinjam o estado de fusão. Essa diferença, faz com que, a cada composto polimérico, esteja associado uma temperatura de processamento diferente, diretamente relacionada com o valor de calor específico de cada polímero e sua composição. Os semicristalinos têm ainda associado o calor latente de fusão devido à sua estrutura cristalina, sendo esse calor latente distinto de acordo com o grau de cristalinidade, como se pode comprovar pela figura 10 [1,6].

No processo de moldação por injeção o calor fornecido para a fusão do polímero, é fornecido externamente pelas resistências e internamente por trabalho mecânico. O

calor gerado por trabalho mecânico, é devido ao atrito entre moléculas e vai diminuindo com o aumento da temperatura do fundido, visto que a viscosidade do polímero é inversamente proporcional à temperatura [3,4].

### Arrefecimento

Durante o enchimento o polímero é estriado, as moléculas individuais tendem a alinhar-se em direções associadas com o escoamento. Após o enchimento, tende a dispor-se de forma aleatória, um processo que se quer lento na medida que a temperatura vai diminuindo. Se acontecer um arrefecimento brusco, o relaxamento das moléculas não é completo, congelando as orientações das moléculas, isso cria uma característica perturbadora, anisotropia nas propriedades mecânica do produto final [6].

A velocidade de arrefecimento diferente afeta a taxa de cristalinidade, contendo zonas com grau de cristalinidade elevadas (zonas onde o arrefecimento é lento) e zonas com baixa cristalinidade [4].

Durante o processo de moldação, as temperaturas em diferentes partes do molde oscilam devido ao ritmo regular da produção.

O tempo de arrefecimento do material no molde, pode ser aproximado com uso da equação de Wubken [2,3].

$$T_{arrefecimento} = \frac{s^2 \times \ln \left( k \times \frac{T_{injeção} - T_{molde}}{T_{extração} - T_{molde}} \right)}{\pi^2 \times \alpha} \quad (1)$$

Onde,

$T_{arrefecimento}$  – Tempo de arrefecimento (s);

$s$  – Espessura média da parede (m);

$K$  – Coeficiente dependente da espessura,  $\frac{4}{\pi}$  para peças com  $s < 3$  mm e  $\frac{8}{\pi^2}$  para  $s > 3$ ;

$\alpha$  – Difusividade térmica efetiva média;

$T_{injeção}$  – Temperatura de injeção (°C);

$T_{molde}$  – Temperatura do molde (°C);

$T_{extração}$  – Temperatura de extração da peça (°C).

### Escoamento não Newtoniano

Os termoplásticos exibem um comportamento intermédio entre o de um sólido elástico, Hookeano, e de um líquido viscoso, Newtoniano.

Na Mecânica Clássica, as propriedades mecânicas dos sólidos elásticos podem ser descritas pela Lei de Hooke (equação 2), onde se afirma que ao ser aplicada uma tensão,  $\sigma$ , ao material, se verifica uma deformação,  $\varepsilon$ , que lhe é proporcional, sendo a tensão independente da velocidade de deformação. Quando esta tensão é retirada, o corpo recupera completamente e quase instantaneamente a sua forma inicial [1,5].

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (2)$$

onde E é o Módulo de Young.

As propriedades dos líquidos, são descritas pela Lei de Newton. Um fluido Newtoniano, não consegue suportar deformações e a resposta instantânea a uma tensão é o escoamento viscoso. A tensão é independente da deformação, mas proporcional à velocidade de deformação, conforme se verifica na equação 3 [1,5].

$$\sigma = \eta \times \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (3)$$

onde  $\eta$  é o coeficiente de viscosidade.

A maioria dos termoplásticos apresentam uma diminuição da viscosidade com o aumento do valor da deformação, porém, devido à variação do volume livre intermolecular, a viscosidade destes materiais também depende fortemente da temperatura, como se pode observar na figura 11.

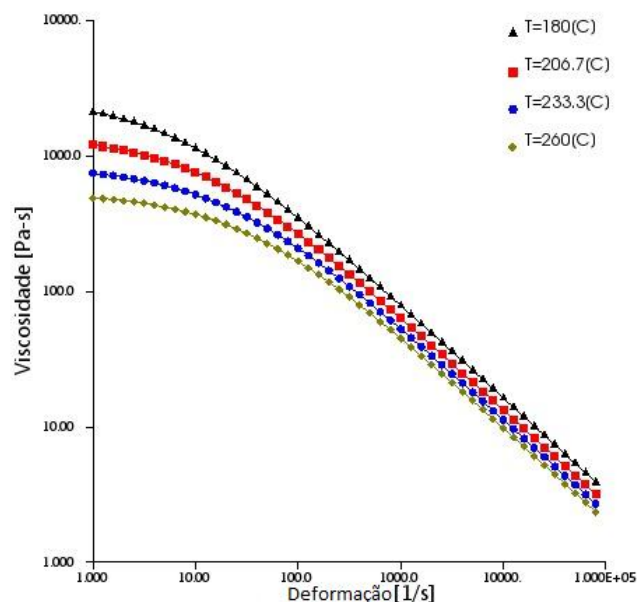


Figura 11 - Influência da temperatura e da deformação na viscosidade no escoamento de PP [Fonte: *Software Modflow*].

No que concerne os termoplásticos em particular, faz-se uma referência particular ao Polipropileno (PP), pela importância que este material detém no contexto deste trabalho.

## Polipropileno (PP)

O polipropileno apareceu pela primeira vez em 1959, como resultado do desenvolvimento da polimerização, figura 12, para obter polímeros ordenados de alto grau de cristalinidade [5].

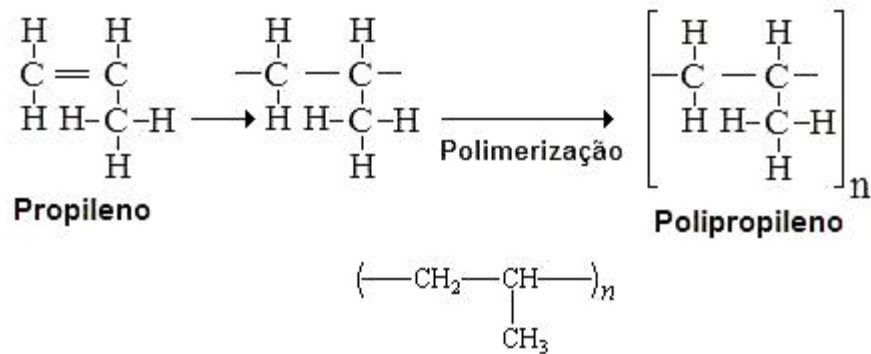


Figura 12 - Estrutura química do PP [15]

Sendo um polímero semicristalino, combina um esqueleto estrutural rígido devido à sua cristalinidade e zonas com fase amorfa onde não apresenta uma organização estrutural. Devido a estas características moleculares apresenta um interessante compromisso de propriedades [1,5].

O polipropileno é considerado um termoplástico de grande consumo, sendo que estes representam 90% do consumo de termoplásticos, devendo-se esse facto à sua facilidade de moldação e ao seu preço reduzido, cerca de 1€/kg [2,3].

O PP, apresenta propriedades específicas que tornam este material muito versátil e que potencializaram a hegemonia deste material na indústria automóvel [3] tais como:

- Baixa densidade, 0.9kg/m<sup>3</sup>;
- Resistência a flexão;
- Baixa condutividade elétrica, funcionando como um bom isolante;
- Baixo preço;
- Baixa permeabilidade;
- Boa resistência química.

Apesar de ser um polímero com uma interessante combinação de propriedades, apresenta algumas desvantagens, como [3]:

- Alto coeficiente de expansão térmica;

- Degradação por UV;
- Altamente inflamável;
- Suscetível à oxidação.

### Aplicação do PP:

- No setor automóvel devido ao seu reduzido custo e baixa densidade [2,3];
- É usado em recipientes de líquidos devido à sua baixa permeabilidade e boa resistência química [1,2];
- É usado com frequência em componentes elétricos devido à sua baixa condutividade elétrica.

#### 2.1.2. Máquina de injeção

A máquina de injeção é composta essencialmente por unidade de potência, unidade de injeção, unidade de fecho e unidade de comando como representado na figura 13.



Figura 13 - Exemplo de máquina de injeção hidráulica (Adaptado de [1])

#### • Unidade de potência

Fornece a energia adequada dos diversos atuadores da máquina que garantem o movimento linear desta. Está baseado num sistema de pressão óleo-hidráulico, cuja

bomba respetiva é acionada por um motor elétrico para a máquina de elevada tonelagem de fecho [1,2,3].

- **Unidade de injeção**

Promove o transporte, aquecimento, plasticização e homogeneização do material (originalmente em grão ou pó), desde a base da tremonha até ao bico de injeção. Garante também a injeção e pressurização do material fundido [1].

Na maioria dos casos está baseado num parafuso sem-fim (fuso) que garante a plasticização e injeção, representado na figura 14 [5].

A geometria de um parafuso deverá estar adaptada às propriedades térmicas e reológicas do polímero a processar. Sendo assim possível processar uma vasta gama de polímeros [5].

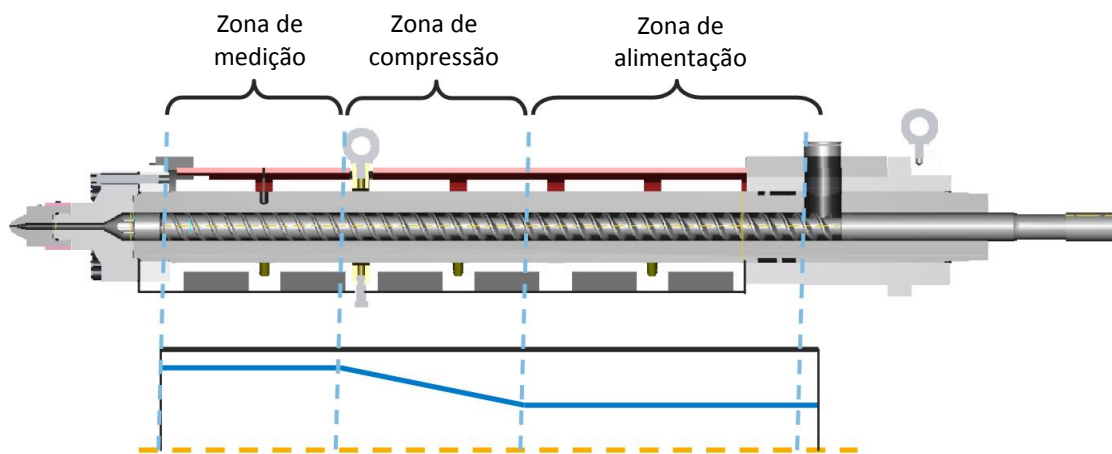


Figura 14 - Parafuso sem-fim (Adaptado de [1])

- **Unidade de fecho**

Assegura a fixação e a movimentação do molde, devendo ser capaz de o manter fechado durante as fases de injeção e segunda pressão. Pode também integrar os dispositivos necessários à extração quando é mecânica [3].

- **Unidade de comando**

As operações e os dispositivos necessários para assegurar a monitorização e controlo das diversas variáveis do processo estão centralizadas nesta unidade, assegurando a interface com o operador e as comunicações com periféricos ou sistemas de gestão de informação [1,2,3].



### 2.1.3. Molde

Um molde pode ser descrito como um conjunto de elementos que interagem entre si, com as funções de:

- Centralizar em cada metade do molde;
- Guiar o material fundido para a cavidade, permitindo que o espaço em que a peça vai ser materializada seja preenchida com o material fundido;
- Conduzir o ar que é deslocado pelo fundido e expulsá-lo;
- Assegurar a reprodutibilidade dimensional em cada ciclo;
- Facilitar o arrefecimento no caso dos termoplásticos;
- Assegurar a extração da peça.

Muitas vezes o tipo de injeção é o que define o tipo de molde que é uma decisão crítica, uma vez que a sua escolha determina a produtividade e custos operacionais do molde [3].

Assim, pode dividir-se o tipo de injeção em grandes grupos, sistema de canais quentes e canais frios.

Nos sistemas de canais frios o material fundido, proveniente do bico de injeção, é guiado para a cavidade de moldação através de uma série de canais geralmente maquinados numa ou mais placas do molde. Nestes sistemas, os canais são extraídos juntamente com a peça e cortados após a remoção da peça do molde (figura 15) ou no caso do molde de três placas (Figura 16) separados da peça na abertura do molde.

Se o canal for consideravelmente mais espesso do que a espessura da parede da peça, o tempo de arrefecimento não é determinado pela peça, mas sim pelo canal [1].

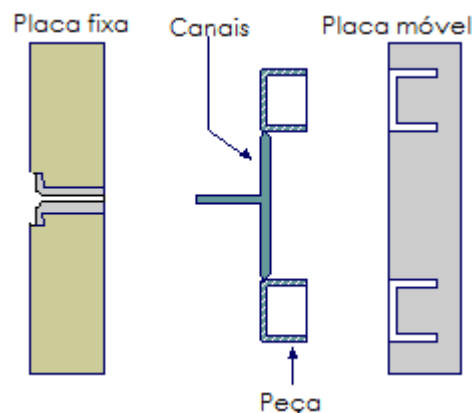


Figura 15 - Molde de duas placas (Adaptado de [1])

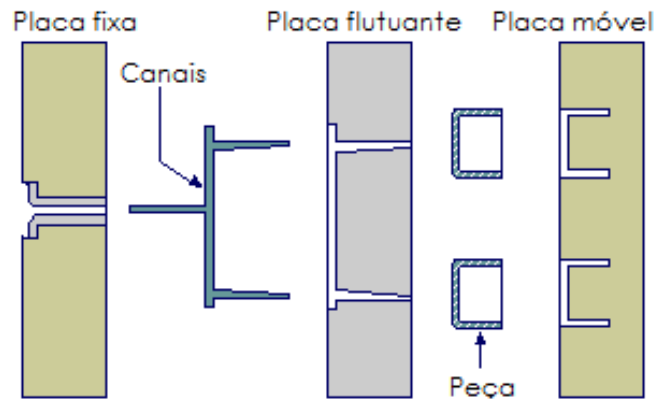


Figura 16 - Molde de três placas (Adaptado de [1])

Os canais quentes evitam o arrefecimento do material nos canais, assim o material permanece no sistema após a remoção da peça e é injetado na cavidade no ciclo seguinte. Com isto, economiza-se material e evitam-se operações secundárias como corte dos canais de alimentação.

Os sistemas de canais quentes permitem obter tempos de ciclos inferior e menos desperdício de material, porém, o custo do projeto de fabrico de um molde com canais quentes é superior devido à sua maior complexidade e maior custo de componente [2].

#### 2.1.4. Equipamento auxiliar

Para se garantirem os níveis adequados de qualidade e de produtividade, os equipamentos auxiliares são essenciais para a fiabilidade do processo produtivo, permitindo a automatização do processo [2].

Eles asseguram as funções de transporte e preparação de matéria-prima, manuseamento da moldação e controlo da temperatura de molde.

- **Transporte e preparação de matéria-prima**

A automatização das operações de transporte e de preparação da matéria-prima é desejável para se conseguir diminuir o erro humano, os problemas de contaminações e o desperdício de tempo na movimentação da matéria [3].

- **Manuseamento da moldação**

A solução é muito dependente do tipo de peças e materiais em questão. No entanto, é necessário automatizar este processo para se conseguir diminuir o tempo de espera/tempo morto do ciclo de moldação.

No caso mais simples, as moldações, depois de extraídas, podem cair do molde por gravidade para um recipiente ou tapete transportador, em muitas situações as

dimensões ou a necessidade de evitar o risco de danificação das moldações requer o seu manuseamento com equipamentos automáticos, designados por robôs ou manipuladores [1].

- **Controlo de temperatura de molde**

O arrefecimento do material injetado é realizado por transferência de calor para a superfície moldante, que se encontra a uma temperatura inferior. Essa temperatura é controlada pelo fluido do circuito de refrigeração do molde, a variação da temperatura do fluido entre a entrada e a saída do molde deve ser em geral entre 2 e 5°C [2].

Para obedecer às especificações do projetista, quanto à temperatura e ao caudal, são usados termorreguladores e reguladores de caudal, em que o sentido do fluido refrigerador que circula no molde deve ser (figura 17) [1,3]:

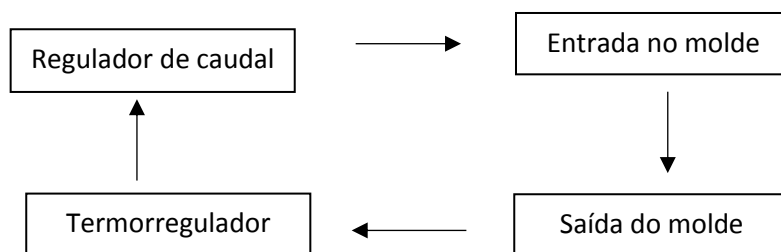


Figura 17- Circuito de refrigeração

### 2.1.5. Condições de processamento

Ao longo desta seção irá ser abordada a influência dos parâmetros de processamento na qualidade das peças obtidas por moldação por injeção, tais como:

- Pressão de injeção;
- Segunda pressão;
- Tempo de manutenção;
- Velocidade de rotação do fuso;
- Contrapressão;
- Dosagem;
- Almofada;
- Temperatura do molde;
- Temperatura no cilindro;

- Tempo de arrefecimento;
- Força de fecho.

### Pressão de injeção

Designa-se por pressão de injeção a pressão máxima que se desenvolve durante a fase de enchimento, e é o resultado do esforço necessário para garantir o enchimento de um determinado material, à velocidade ajustada pelo operador.

Durante o enchimento, o operador define a pressão de ajuste (pressão máxima que pode atingir durante o enchimento), se durante o enchimento a pressão de ajuste for atingida, o equipamento deixa de ter capacidade de controlar a velocidade de injeção.

Fatores que influenciam a pressão de injeção:

- I. Tipo de matéria-prima;
- II. Complexidade da peça a ser moldada;
- III. Qualidade e polimento do molde;
- IV. Tipo e geometria do bico de injeção.

### Segunda pressão

Pressão aplicada sobre a moldação após o final do enchimento com o intuito de compensar a contração volumétrica que o material sofre durante o seu arrefecimento.

### Tempo de manutenção

O tempo de manutenção corresponde ao período durante o qual o fuso exerce a pressão de manutenção. A extensão desta fase é determinada pelo momento em que se verifica o arrefecimento do ataque. A partir daí deixa de haver fluxo de material (Figura 18), desta forma é desnecessário manter o esforço de pressurização [1,4].

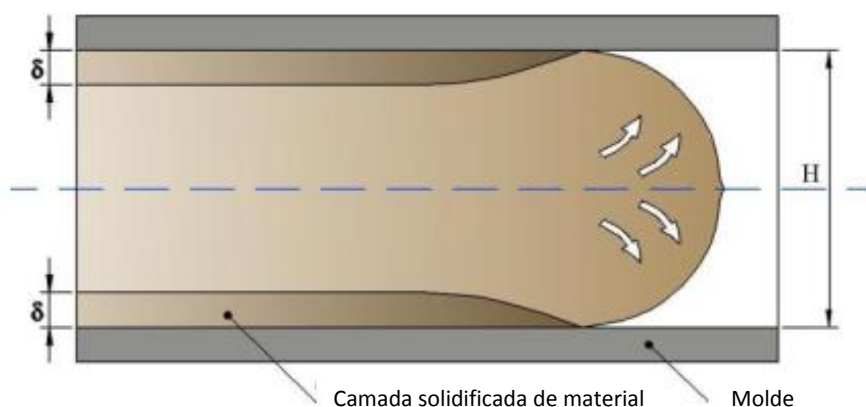


Figura 18 - Espessura de material solidificado [2]

Este tempo pode ser determinado experimentalmente, com auxílio de uma balança de precisão ou efetuar uma estimativa teórica do tempo de manutenção como representado na equação 4 [2].

$$t = \left( \frac{\delta}{2 \times Y \times \sqrt{\alpha}} \right)^3 \quad (4)$$

$\delta$  - Espessura da camada solidificada até ao instante;

$\alpha$  – Difusividade térmica do material;

t – Tempo desde o início do enchimento;

Y – Temperatura adimensional, dada por:

$$Y = \frac{T_{nf} - T_{molde}}{T_{fund} - T_{molde}} \quad (5)$$

$T_{nf}$  – Temperatura de não fluxo do material

$T_{molde}$  – Temperatura do molde

$T_{fund}$  – Temperatura do fundido

O tempo de manutenção pode ser estimado considerando  $\delta = \frac{H}{2}$ , ou seja, o instante a partir do qual deixa de ser possível o escoamento na seção em análise, sendo o H a espessura do canal.

### **Velocidade de rotação do fuso**

A velocidade de rotação do fuso é um parâmetro muito importante para obter um fundido homogêneo durante a plasticização. Velocidades de rotação do fuso muito elevadas provocam gradientes térmicos [1,2].

Em situações onde se exige uma plasticização rápida (moldações com tempos de arrefecimento reduzidos) utilizam-se velocidades de rotação do fuso elevadas. No entanto, essas condições, pioram a homogeneidade térmica da dosagem do fundido [2].

### **Contrapressão**

Esforço que se opõe ao recuo do fuso durante a fase de plasticização. Nas máquinas hidráulicas, este efeito é conseguido à custa do maior ou menor estrangulamento da saída de óleo do cilindro de injeção [1,2].

O valor da contrapressão define a pressão que o fundido tem de desenvolver na ponteira do parafuso, para assegurar o seu recuo [1,2].

### **Dosagem**

Curso de material plasticizado. Este valor corresponde ao volume da moldação e da almofada. O curso de dosagem exprime-se em milímetros, a partir da posição mais avançada do fuso [2,4].

### **Almofada**

Quantidade de material remanescente a jusante do fuso de injeção após a fase de pressurização.

Almofadas grandes amortecem variações de processo, embora não sejam aconselháveis para materiais de elevada sensibilidade térmica [1,2].

### **Temperatura do molde**

A temperatura do molde é um parâmetro fundamental de processamento que determina muitas propriedades da peça moldada, uma vez que condiciona fortemente o desenvolvimento estrutural do polímero durante a fase do arrefecimento [1,2,3].

Normalmente, o tempo de arrefecimento corresponde à maior fatia do tempo de ciclo de moldação, por isso, a sua importância na produtividade do processo é muito elevada.

Esta variável experimenta uma grande variação ao longo do ciclo de moldação. Na maioria dos casos, o operador regula a temperatura do fluído arrefecedor/aquecedor, onde esta pode ser bastante distinta da temperatura da superfície moldante, designada por temperatura de interface.

A filosofia clássica de ajuste do processo, baseia-se em minimizar a amplitude térmica do molde ao longo do tempo de ciclo.

Por vezes é frequente a utilização de temperaturas diferentes nas duas partes do molde de modo a facilitar a extração ou garantir a estabilidade dimensional das peças.

Temperaturas de moldes elevadas, aumentam o brilho, a transparência e a contração. Por outro lado, as temperaturas baixas aumentam as tensões internas [2,3].

### **Temperatura no cilindro**

A temperatura do material ao longo do cilindro de plasticização, é função da potência calorífica debitada pelas resistências de aquecimento e pelo calor gerado por dissipação viscosa, devido ao atrito entre as cadeias moleculares do polímero, e entre o polímero, e as paredes do parafuso/cilindro [7].

O perfil de temperatura selecionado deve ser função do tipo de material a transformar [3].

É necessário garantir uma temperatura suficientemente elevada para assegurar a fluidez do material, embora sem provocar a degradação do material [1].

Temperaturas de injeção superiores ao necessário aumentam o tempo de ciclo e o consumo energético, favorecem a contração, o brilho e a transparência. Temperaturas baixas dificultam o enchimento, fragilizam e realçam linhas de soldadura. [1]

### **Tempo de arrefecimento**

O arrefecimento da moldação inicia-se a partir do momento em que o polímero entra em contacto com as paredes moldantes [7].

No entanto, designa-se por tempo de arrefecimento, o período após o tempo de segunda pressão, necessário para permitir a adequada extração da moldação [3].

A moldação deve ser extraída a uma temperatura tal que garanta a sua estabilidade dimensional e que lhe permita suportar o esforço de extração. [2]

### **Força de fecho**

Esforço desenvolvido pela unidade de fecho da injetora para manter o molde fechado, sendo expressa em kN ou tonelada. Esta força vai opor-se à resultante, no eixo axial da injetora, da pressão exercida pelo composto a moldar sobre as paredes da zona moldante [7].

Se a capacidade de fecho da injetora não for superior à força exercida pelo material, o molde abre e há formação de rebarba [7].

As máquinas deverão ser ajustadas para exercerem uma força de fecho ligeiramente superior (cerca de 10 a 20%) à requerida por uma determinada moldação [3].

A utilização de força de fecho muito superior ao necessário, além de desperdício energético, poderá provocar danificação do molde [2].

## **2.2. Defeitos de peças obtidas em moldação por injeção**

Durante esta seção será dado especial ênfase aos três tipos de defeitos reportados pela a Moldit: (i) Aparecimento de diferenças de brilhos; (ii) Peça incompleta; (iii) Variabilidade dimensional.

Na literatura técnica, o brilho não é considerado um defeito, antes pelo contrário, é uma qualidade superficial conferida. No entanto, quando este não é conferido homogeneamente é considerado então um defeito, devido à diferença de refletividade observada ou medida na peça. Hsin-Chung Cheng, concluiu a partir de uma análise analítica que a temperatura do molde é o parâmetro de processamento que influencia o brilho. O brilho não homogêneo pode ser causado pelo aumento da temperatura *in situ*, resultante do aumento da deformação sofrida pelo polímero durante o escoamento ou por assimetria de temperaturas do molde [17].

Segundo [5,9] o aparecimento de peças incompletas, deve-se ao arrefecimento precoce da frente do fundido, devido a baixas temperatura de injeção ou à baixa temperatura do molde onde estas condições não privilegiam a fluidez do material. Como afirma Hecke [10], a geometria do molde, assume igualmente relevância no contexto deste problema. A existência de zonas demasiado estreitas, necessárias à produção de peças com geometrias finas, podem ser de difícil enchimento se o material tiver uma baixa fluidez. A geometria complexa aliada a velocidades de injeção altas, podem agravar o aprisionamento de ar provocando assim a formação de peças incompletas.

Fernandes [11], com recurso a uma análise estatística, comprovou que a velocidade de injeção e o tempo de manutenção têm uma influência direta na variabilidade dimensional do produto final. Sendo que Suhas [4], afirmou que a variabilidade dimensional pode ser provocada por diferenças de pressões durante todo o ciclo de moldação, podendo essas ser criadas por sistemas de escapes de gás mal dimensionados ou mesmo por arrefecimento não uniforme da moldação.

Na próxima seção será feito um enquadramento teórico à metodologia de otimização do processo de moldação utilizada neste trabalho, por forma a auxiliar o desenho de experiências necessário ao estudo dos defeitos de fabrico atrás mencionados.

### 2.3. Método Taguchi

O uso do método de Taguchi, é uma técnica de planeamento de experiências, cuja utilidade e aplicabilidade no auxílio da compreensão do problema científico intrínseco ao processo de moldação por injeção foi referida por outros autores, nomeadamente [8,11,12,13].

O método de Taguchi pertence à categoria dos métodos que, em Qualidade, são classificados de “*Off-line*” por serem de utilização exterior à linha de produção, em oposição aos métodos “*On-line*” que, sendo os mais frequentemente utilizados, executam o controlo durante a fase produtiva [14].

O objetivo deste método é minimizar a variabilidade do produto, identificando os meios que lhe conferem robustez, durante o processo de fabrico, perante as fontes de variação a que é submetido [15].

O conhecimento do processo sugere que determinados fatores de produção influenciam a qualidade final do produto, para determinados *input's* controláveis. Se a relação funcional entre os *input's* e o valor do *output* fosse conhecida, poder-se-ia esperar que os cálculos dos níveis em que os primeiros deveriam intervir, para se obter o valor-alvo do produto, fosse imediato. No entanto, identificadas essas variáveis, revelar-se-ão, ainda, alguns fatores externos, não controláveis durante a produção e que exercem uma ação perturbadora, ocasionando desvios no valor real do *output*, em relação ao esperado (figura 19). Os fatores de ruído são um fator externo, e podem ter



impactos negativos no rendimento do sistema ou na qualidade. Estes fatores são impossíveis de controlar ou o seu controlo é muito dispendioso [15].

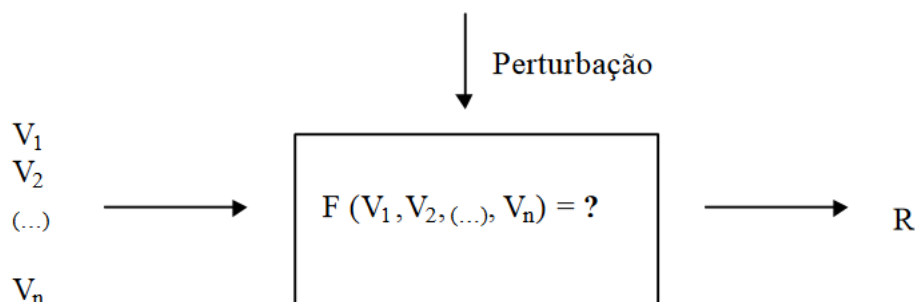


Figura 19 - Esquema representativo do sistema [15]

$V_n$  – Variável de produção intrínseca (controlável), de ordem  $n$ ;

$R$  – Resposta, ou valor obtido para a característica a estudar;

Perturbação – Ação combinada das variáveis (fatores) extrínsecas;

Para ultrapassar esta limitação, Taguchi sugere que se realize um conjunto de experiências estatisticamente planeadas, em que as variáveis intrínsecas intervenham em níveis diferentes. É nesta fase que o método recorre ao desenho estatístico de experiências fatoriais e de conjuntos de experiências altamente fracionadas, sob a forma matricial (DOE – *Design of experiments*), devendo, cada experiência-tipo, corresponder a uma combinação específica de níveis para as variáveis intrínsecas [4,15].

As experiências simulam condições específicas de produção sob o efeito de fontes de variação e, analisando os resultados, identificar-se-á quais as variáveis intrínsecas que mais afetam a variabilidade, bem como quais os níveis em que elas deverão ser mantidas, durante a produção, de modo a que essa variação seja mínima [4].

Um dos aspetos mais atrativos do método de Taguchi é o facto de o mesmo sugerir que se realize um número de experiências consideravelmente inferior ao teoricamente previsto pelo DOE, resultando na redução do custo experimental [4,15].

Após a realização do conjunto de experiências selecionado, Taguchi propõe que se analise estatisticamente os resultados. A análise de variância – ANOVA, permite que se fique a conhecer qual a importância de cada parâmetro na variação de qualidade da peça obtida [4,14,15].

Depois de se obterem os resultados, é possível identificar os níveis de fatores de controlo que têm maior e menor influência nas características de um produto. Uma forma de distribuir os fatores do mais influente para o menos influente, consiste em calcular a média dos resultados obtidos em cada um dos níveis. Este cálculo é repetido para cada fator [14].

Para identificar os níveis que conduzem às melhores características de qualidade do produto, recorre-se à análise de variância e aplica-se um teste de hipóteses, o teste F, tendo como objetivo comparar a variância de duas populações [15].

A ANOVA, baseia-se na decomposição da variação total da variável resposta em partes que podem ser atribuídas aos tratamentos (variância entre) e ao erro experimental (variância dentro). Essa variação pode ser medida por meio das somas dos quadrados definidas para cada um dos seguintes componentes:

$$SQ\ Total = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij}^2 - C \quad (6)$$

em que

$$C = \frac{(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij})^2}{IJ} \quad (7)$$

$$SQ\ Trat = \frac{\sum_{i=1}^I y_i^2}{J} - C \quad (8)$$

Onde a soma dos quadrados dos resíduos pode ser obtida pela diferença:

$$SQ\ Res = SQ\ Total - SQ\ Trat \quad (9)$$

Essas somas de quadrados podem ser organizadas numa tabela, representada na tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de análise de variância

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios	F calculado
Tratamentos	I-1	SQTrat	QMTrat	QMTrat/QMRes
Resíduo	I×(J-1)	SQRes	QMRes	
Total	I×J-1	SQTotal		

Onde

$$QM\ Trat = \frac{SQ\ Trat}{(I-1)} \text{ e } QM\ Res = \frac{SQ\ Res}{I \times (J-1)} \quad (10)$$

O quociente  $\frac{QM\ Trat}{QM\ Res}$  tem distribuição F com (I-1) e I(J-1) graus de liberdade, supondo que,  $y_{ij}$  são variáveis aleatórias independentes, todos os tratamentos têm variâncias iguais a  $\sigma^2$  e  $Y_{ij} \sim N(\mu_i, \sigma^2)$ . Por esses motivos, os pressupostos da ANOVA devem ser testados ou avaliados em qualquer análise.

A aplicação de testes de hipóteses, teste F, permite identificar os fatores que produzem efeitos significativos nas características de qualidade do produto.

Se  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ , rejeita-se a hipótese de nulidade  $H_0$ , ou seja, existem evidências de diferença significativa entre pelo menos um par de médias de tratamentos, ao nível  $\alpha$  de significância escolhido. Caso contrário, não se rejeita a hipótese de nulidade  $H_0$ , ou seja, não há evidências de diferença significativa entre tratamentos, ao nível  $\alpha$  de significância escolhido.

## 2.4. *Lean*

Durante este capítulo serão abordados os pensamentos *Lean* bem como as metodologias de melhoria contínua aplicadas no âmbito desta dissertação e o seu enquadramento na produção enxuta.

### **Pensamento *Lean***

O pensamento *lean* têm por base a identificação e eliminação das tarefas que não acrescentam valor ao produto/serviço.

A existência de custos relacionados com os desperdícios implica um valor acrescido e desnecessário no produto final [16].

Segundo Jeffrey [17], existem oito grandes tipos de perdas sem agregação de valor em processos administrativos ou de produção, sendo eles:

- **Movimento** – Qualquer movimento de pessoas ou equipamentos que não acrescentam valor ao produto [17,19].
- **Tempo de espera** – Diz respeito ao tempo que tanto as pessoas como os equipamentos perdem à espera de algo. Podem ocorrer sempre que existam problemas com o *layout*, problemas com os fornecedores internos e externos, fluxos obstruídos devido a avarias, defeitos de entregas ou até mesmo acidentes. Os tempos inativos podem ser eliminados nivelando as operações, fazendo mudanças rápidas de ferramentas e realizando o balanceamento dos postos de trabalho [17,19].
- **Desperdício do próprio processo** – está associado a operações e a processos que não são necessários. A falta de treino e/ou uniformização pode também provocar desperdícios. A automatização de processos/tarefas, a formação de colaboradores ou a substituição dos processos atuais por outros mais eficientes são formas de eliminar este tipo de desperdício [17,19].
- **Transporte** – Transportar componentes ou materiais dentro da área fabril sem que lhes seja acrescentado valor [17,19].

- **Excesso de inventário** – Tanto de matéria-prima, ou de produto acabado, o excesso de stock causa maiores custos de transporte, armazenagem e produtos danificados. Para além disso, esconde problemas que possa existir na organização tais como atrasos nas entregas, defeitos, tempos de inatividade do equipamento e *setups* longos [17,19].
- **Defeitos** – Produção de peças defeituosas ou correção provocando *rework*, descartar ou substituir a produção e inspecionar significam perdas de manuseio, tempo e esforço [17,19].
- **Excesso de produção** – Das sete categorias, esta é a mais penalizante e é o oposto da produção *just in time*. Uma produção excessiva implica produzir o que não é o necessário, quando não é necessário e em quantidades desnecessárias. Como consequência, incorre-se uma ocupação de recursos desnecessária e em aumento dos stocks, sem que isto represente um retorno financeiro [17,19].
- **Desperdício da criatividade dos colaboradores** – a não utilização da criatividade do colaborador leva muitas vezes a perdas de ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não os envolver [17].

#### 2.4.1 Metodologias *Lean* aplicadas

##### 5'S

Esta ferramenta foca-se numa organização do trabalho efetiva, na simplificação do ambiente de trabalho e na redução do desperdício, melhorando a qualidade e a segurança [17,18].

Esta metodologia, proveniente do Japão, ficou denominada de 5S visto que dela fazem parte cinco palavras que começam pela letra “S”: *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu* e *Shitsuke*, esquematizado na figura 20.



Figura 20 - 5S [17]

- **Seiri (Organização)** – Selecionar os equipamentos e as ferramentas úteis ao trabalho a praticar em cada posto e eliminar tudo o que é desnecessário [17,18].
- **Seiton (Arrumação)** – Arrumação do posto de trabalho. Cada coisa deve estar no lugar previamente definido e devem estar à mão todos os objetos mais utilizados [17,18].
- **Seiso (Limpeza)** – Após a divisão do posto de trabalho pelos operários, cada um deve ser responsável pela limpeza da área que lhe compete [17,18].
- **Seiketsu (Padronização)** – A normalização é fundamental para manter as três fases anteriores. É necessário desenvolver regras e usar sistemas de controlo visuais tornando óbvia a localização correta dos materiais. A normalização permite que qualquer pessoa realize o trabalho usando o mesmo procedimento, reduzindo a variabilidade e facilitando a identificação de oportunidades de melhoria [17,18].
- **Shitsuke (Disciplina)** – Assegurar a manutenção dos padrões dos 5S's através de comunicação, formação e disciplina. Desenvolver regras, instruções, lista de limpeza, lista de ações, etc. Reconhecer quando é atingido e mantido um bom nível de organização [17,18].

## SMED

A metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) tem como objetivo a redução dos tempos de *setup*, que pode ser aplicada em qualquer fábrica e em qualquer máquina. *Setup* engloba todas as atividades que acontecem imediatamente após o

momento da última peça boa da produção até ao momento da primeira peça boa da próxima produção [16,18].

Tempos elevados de *setup*, além de representarem um custo considerável, comprometem a agilidade da empresa em relação à entrega, impossibilidade económica para produzir pequenos lotes, à possibilidade de assumir novos pedidos ou mesmo conquistar novos mercados, permitindo assim uma ação agressiva da concorrência [16].

A génese da metodologia SMED surge em 1950 quando Shigeo Shingo dirigiu um estudo de melhoria de eficiência na fábrica da Mazda Toyo Kogyo em Hiroshima que visava eliminar os gargalos causados por prensas de estampagem de 350, 700 e 800 toneladas. Ao realizar este estudo percebeu que as operações de *setup* se dividem em dois tipos [16]:

- *Setup* interno – representa todas as operações que apenas são realizáveis com a máquina parada.
- *Setup* externo – representa todas as operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento.

A divisão de *setups* possibilitou o estabelecimento de um procedimento para o *setup* externo e a realização de todas as operações possíveis do *setup* externamente [16].

### **Fases conceituais do SMED**

A metodologia SMED está dividida em quatro fases [16], representada na figura 21.

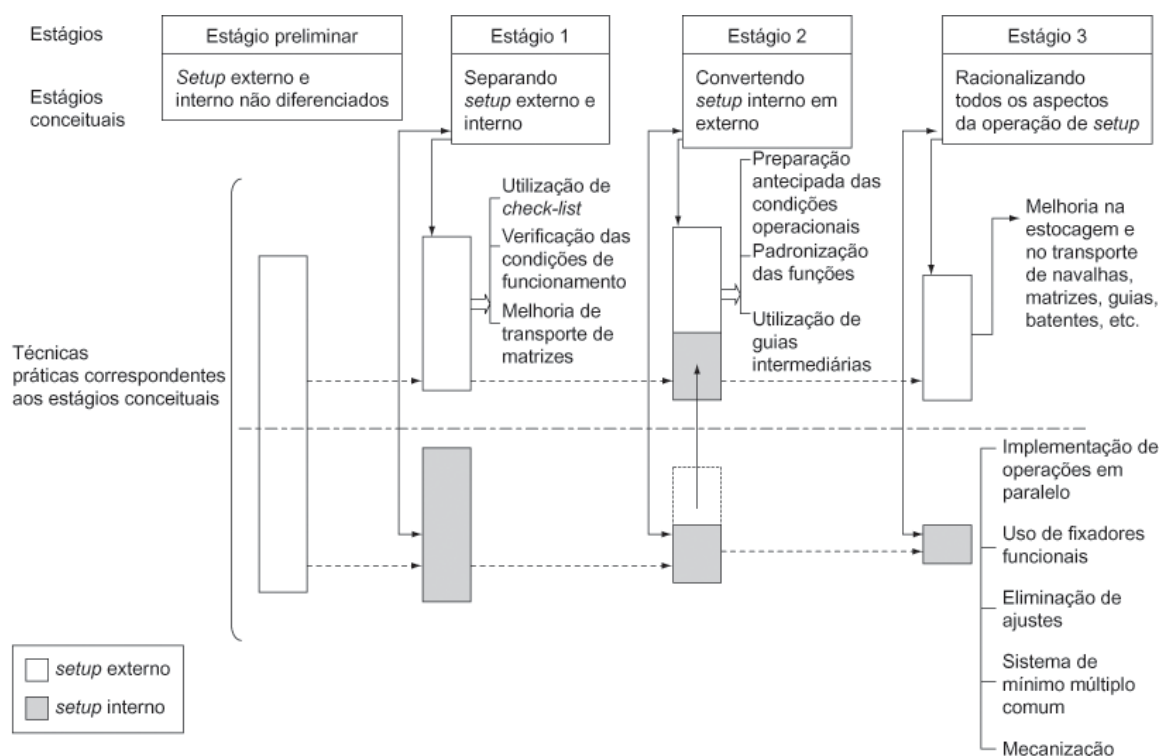


Figura 21 - SMED [16]

**Fase inicial** – Nesta fase preliminar, não é feita nenhuma distinção entre *setup* interno e externo. Muitas ações que poderiam ser realizadas externamente como, por exemplo, procurar ferramentas, são executadas com a máquina parada. Isso aumenta desnecessariamente o tempo de preparação [16].

**Fase 1** – Separar *setup* interno e externo. Esta fase é muito importante na implementação do SMED. Deve-se criar uma lista de verificação que inclua todas as peças, condições de operação e medidas que tenham de vir a ser tomadas enquanto a máquina estiver a funcionar [16].

**Fase 2** – Converter *setup* interno em externo. A classificação das operações deve ser revista para garantir que não existem operações externas classificadas como internas. Devem ser encontrados meios para converter operações realizadas com a máquina parada em operações realizáveis com a máquina em funcionamento como, por exemplo, a realização prévia de aquecimentos, montagens e centragens [16].

**Fase 3** – Racionalização das operações de *setup*. Nesta fase pretende-se uma melhoria contínua de cada elemento da operação de *setup* interno e externo. Deve ser analisado em detalhe cada elemento da operação de modo a encontrar soluções que permitam a redução de cada tarefa e inclusive a eliminação de algumas operações do *setup*. As fases 2 e 3 podem ser aplicadas em simultâneo [16].





### 3. Metodologia de trabalho

#### 3.1. Definição do caso de estudo

Para efeitos do cumprimento dos objetivos estipulados selecionou-se um artigo de puericultura, uma cadeira de segurança para bebés, representada na figura 22. Pode ser considerada como uma subespecialidade da pediatria, pois preocupa-se com o acompanhamento integral do processo de desenvolvimento das crianças. É um artigo para um nicho de mercado, com requisitos dimensionais e funcionais muito restritos dada a sua particularidade.

O presente estudo debruça-se sobre uma análise experimental dos parâmetros de injeção que influenciam peças não conforme e na aplicação de metodologia conducentes à gestão e controlo de produção. As não conformidades mais comuns identificadas pelo Departamento de Qualidade da Moldit, são peças incompletas, representada na Figura 23 e aparecimento de diferença de brilhos, representada na Figura 24. Por ano, a Moldit rejeita 1,3% produção devido peças incompletas e cerca de 1,2% peças devido ao aparecimento de brilho.

Este produto, ver Figura 22, foi concebido para ser utilizado em veículos de transporte de passageiros com o objetivo de proteger o bebé no caso de ocorrência de um acidente rodoviário, estando em conformidade com a nova legislação para as cadeiras auto I-size (R129). O mercado alvo para este tipo de artigos, são os pais dos recém-nascidos com menos de 12 meses de idade e com um peso máximo de 12 kg.

O ciclo de vida deste produto é de 12 meses e deve conseguir suportar um peso de pelo menos 120 N. Para a produção das cadeiras, estes fatores foram importantes na seleção do Polipropileno, PHC26, como matéria prima.

A produção anual da Moldit ronda as 100 mil unidades, com uma cadência de 50 cadeiras por hora, tendo sido estes alguns dos fatores objeto de análise aquando da análise e parametrização do molde para o fabrico da cadeira.

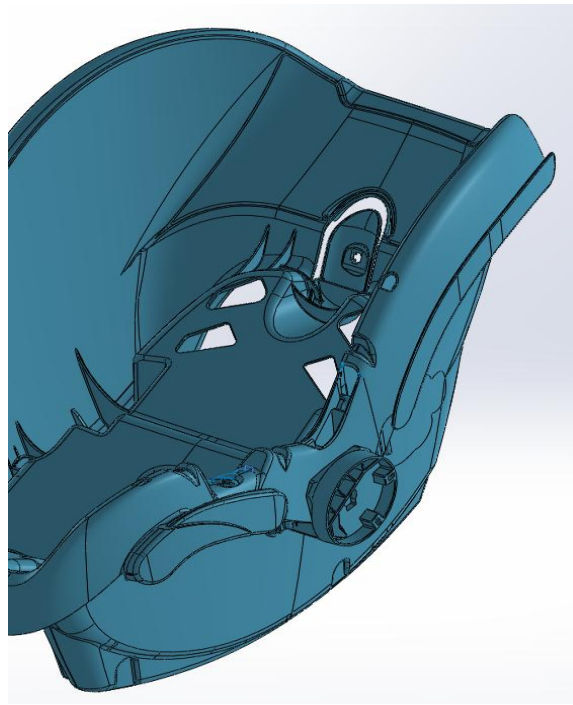


Figura 22 - Imagem 3D da cadeira de bebé (SolidWorks)



Figura 23 - Peça incompleta



Figura 24 - Aparecimento de brilho

Por motivos de confidencialidade, algumas imagens poderão ser apresentadas apenas com vistas parciais.

### 3.2. Requisitos funcionais

O controlo da produção é definido pelo cliente, onde este definiu que uma peça para ser aceite como conforme tinha de cumprir com os seguintes requisitos:

- Estar totalmente preenchida;
- Não ter queimados;
- Não ter diferença de brilhos;
- Dimensão entre os encaixes do elemento transportador, representada na figura 25.

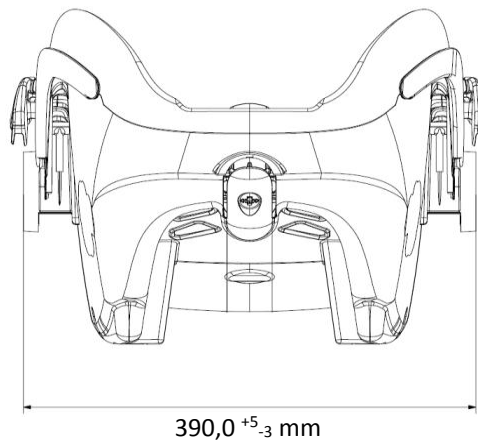


Figura 25 - Dimensão entre encaixe (cota índice)

De referir, que a dimensão entre encaixe, assume uma importância extrema, uma vez que se esta tolerância não for cumprida, comprometer a segurança do bebé. Esta cota refere-se, pois, à ligação entre a cadeira e o elemento transportador, não podendo este acoplamento ficar sujeito a tensões acima das equacionadas e admitidas durante a fase de conceção de produto. Durante o seu tempo em serviço o acoplamento estará sempre sujeito a solicitação mecânica, não podendo durante a fase de montagem ficar sujeito a esforços de tração ou compressão, por incumprimento do toleranciamento dimensional de uma das peças.

### 3.3. Ensaio experimental

O estudo do processamento da cadeira de bebé, como já mencionado, foi selecionado com o intuito de estabelecer uma metodologia de aferição de qualidade e melhoria contínua, no setor de injeção da Moldit. Pretende-se, portanto, com este estudo recolher informação relativa à operabilidade do parque de máquinas, gestão das ferramentas moldantes, bem como à gestão e produção de peças. Nesse sentido, selecionou-se um caso de estudo, que constitui um exemplo típico de operação na empresa, tendo-se associado ao mesmo, uma necessidade de otimização da produção, pelo conjunto de defeitos reportados pelo Departamento de Qualidade. Esses defeitos, prendem-se essencialmente com rejeitos por peças incompletas, défice de qualidade visual (brilhos não homogêneos na superfície da peça), e variabilidade dimensional. Deste modo, e com o intuito de perceber de que modo as condições de processamento influem na qualidade das peças obtidas, desenhou-se um plano de experiências (DOE) por recurso ao Método de Taguchi.

Os parâmetros de injeção foram selecionados tendo por base o histórico de processamento da empresa bem como a revisão bibliográfica. Atribuíram-se ainda, diferentes assinaturas de qualidade tendo como objetivo a análise dos resultados de processamento obtidos, afim de estabelecer as devidas relações causais.

Assim, os parâmetros de processamento em análise são:

- Velocidade de injeção;
- Tempo de manutenção;
- Temperatura injeção;
- Temperatura do molde.

Visto que o método DOE de Taguchi se baseia nos princípios do desenho estatístico de experiências fatoriais, onde se desenham conjuntos de experiências fracionadas, sob a forma matricial, usadas de acordo com o número de fatores e dos níveis considerados. Considera-se aqui, uma matriz  $4^3$  (4 fatores e 3 níveis), ou seja, 64 experiências. Neste caso, Taguchi propõe um vetor ortogonal L9 que contempla apenas 9 experiências, criteriosamente selecionadas, de forma a extrair do estudo grande parte da informação redundante e reduzindo o tempo e custo experimental.

### Máquina injetora

Atualmente, para a produção da cadeira de segurança, a Moldit, utiliza a máquina injetora KraussMaffei 1600 representada na figura 26, cujas características são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Características da máquina injetora KraussMaffei 1600

KraussMaffei 1600	
Força de fecho máxima (toneladas)	1600
Pressão hidráulica máxima (bar)	2258
Diâmetro do fuso (mm)	120
Volume de injeção (cm <sup>3</sup> )	7634



Figura 26 - Máquina de injeção Krauss Maffei 1600

## Molde

Nesta seção não será apresentada uma informação muito detalhada do molde por razões de confidencialidade. De facto, a Moldit não é a sua proprietária, pelo que se apenas descrevem as suas principais características.

Assim, molde é composto por apenas um ataque à peça em bico quente. Pode acrescentar-se, como é possível observar pela figura 27, que o molde apresenta zona de difícil extração de calor, sendo por isso na sua construção incluído uma liga de alta condutividade térmica com o intuito de otimizar a extração de calor nessas zonas.

Esta informação é exposta a título complementar, uma vez que se considera pertinente na análise de resultados apresentada mais à frente.



Figura 27 - Postiço de Liga de alta condutividade térmica

### Condições de referência

As variáveis de controlo do processo de injeção utilizado para a produção das cadeiras de segurança de bebé são:

- Velocidade de injeção, figura 28;

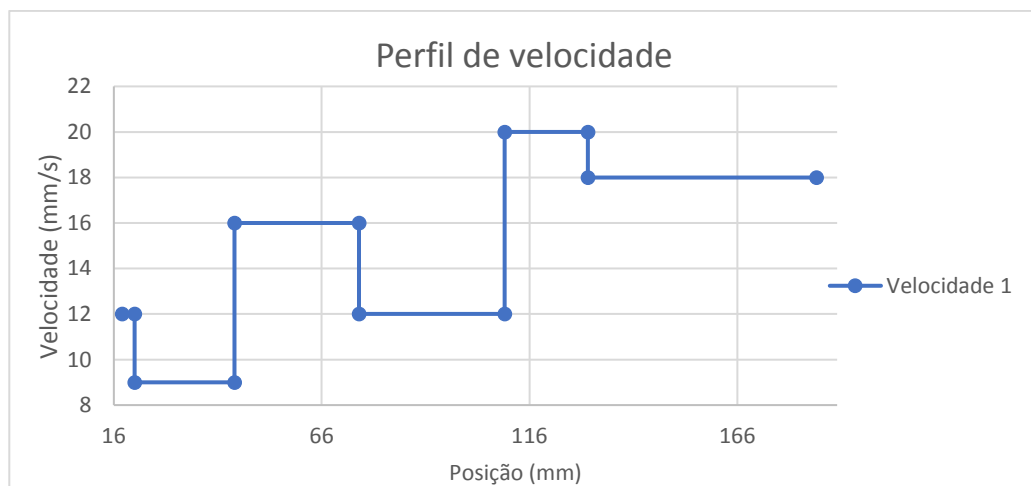


Figura 28 - Perfil da velocidade

- O molde trabalha com temperaturas assimétrica, apresentando temperaturas de 20°C e nas últimas zonas de enchimento a 50°C;
- Temperatura de injeção – 200 °C;
- Tempo de manutenção – 5 segundos;

## Material

O polímero utilizado foi o Polipropileno PHC26 fornecido pela Sabic, cujas propriedades estão listadas na tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades do PHC26

Propriedades	Normas	Valores
Índice de fluidez – 230 °C; 2,16 kg (dg/min)	ISO 1133	8,0
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	ISO1183	905
Módulo à flexão (MPa)	ISO 527-2 1A	1250
Resistência à tração no escoamento (%)	ISO 527-2 1A	5
Resistência ao impacto Izod a 0 °C (KJ/m <sup>2</sup> )	ISO 179/1eA	20
Vicat – 10N	ISO 306	147

### 3.3.1. Assinatura de qualidade

Após selecionar os parâmetros de resposta a utilizar será necessário escolher uma escala fixa para que se proceda à avaliação visual de cada peça. Quando são realizados estudos com o método Taguchi para o controlo de massa ou dimensões como variáveis de resposta, basta introduzir os valores das medições efetuadas com o instrumento de medição utilizado, tal não ocorre com o estudo da inspeção visual, para a caracterização de defeitos, peças incompletas e diferenças de brilhos como resposta. Torna-se por isso necessário encontrar uma escala qualitativa adaptada aos parâmetros de resposta em questão.

Para avaliação visual da peça foi designada uma escala qualitativa de cinco níveis, apresentada na tabela 4.



Tabela 4 - Análise de qualidade

Análise de qualidade		
1	Ausência total de defeitos	Aceita
2	Defeitos pouco visíveis ou impercetíveis a olho nu	Aceita
3	Alguns defeitos pouco visíveis	Rejeita/Aceita
4	Peça aparentemente com poucos defeitos, mas que falha numa inspeção mais cuidada	Rejeita
5	Peça com defeitos visíveis	Rejeita

Se uma peça for avaliada com os valores de 4 e 5 da escala, a peça será sempre rejeitada aquando da produção em série, e será sempre aceite se for avaliada com valores entre 1 e 3.

Em relação à variação da cota, utilizou-se a variação percentual da mesma em relação à nominal. Efetuou-se a medição das cotas passado 24 horas, segundo [5] a pós-contracção tem efeito sobre a peça até 24 horas após a moldação, sendo uma consequência da contínua da cristalização e do relaxamento das tensões internas.

### 3.3.2. Fatores de ruído

Os fatores de ruído são difíceis ou mesmo impossíveis de controlar. Dentro da injeção por moldação existem alguns desses fatores que poderão ter influência no processo e consequentemente na qualidade final da peça produzida.

Alguns dos fatores de ruído são:

- Temperatura ambiente;
- Velocidade do ar;
- Humidade;
- Estação do ano;
- Altura do dia;
- Máquina onde está a ser realizada a injeção.

A estação do ano, temperatura do dia, humidade e altura do dia estão diretamente relacionadas entre si. Estes fatores têm influência no processo, pois este é bastante sensível a temperaturas, visto existir maior transferência de calor para o meio envolvente quanto maior for a diferença de temperatura, humidade e velocidade do ar.

No entanto, o controlo destes fatores numa análise com o método Taguchi só faria sentido se o objetivo do trabalho fosse, por exemplo, a empresa adotar um sistema de climatização.

Em relação à máquina, existem sempre variações nos fatores, por exemplo, os valores do tempo de ciclo e tamanho da almofada com a mesma regulação paramétrica normalmente variam de injeção para injeção.

Assim e após identificar os fatores de ruído, decidiu-se no âmbito deste trabalho não controlar nenhum destes fatores.

Embora não se controle nenhum fator de ruído, têm de se incluir repetições, pois permitem que a condição paramétrica resultante da análise com o método de Taguchi seja a mais centrada no valor alvo.

Devido à inércia térmica do molde, efetuaram-se os ensaios com o molde desde a temperatura mais baixa para a temperatura mais alta. Entre cada ensaio esperaram-se 15 minutos, não sendo possível esperar mais tempo, visto que o tempo consumido implica paragem na produção (de notar que a peça em causa, dadas as suas dimensões, tem custos de produção altos). Assim, optou-se por realizar apenas três repetições por cada ensaio com o intuito de controlar variações normais do processo.

### 3.3.3. Procedimento experimental

Como referido anteriormente a escolha de variáveis operatórias para este ensaio, foi com base na revisão bibliográfica, tendo em conta as especificações da peça como o material a processar bem como as características intrínsecas à ferramenta moldante. De notar que enquanto objetivo, este se pretende com o estudo do aparecimento de defeitos visuais (brilhos e incompletos) bem como as variações de empeno.

Tendo por referência as condições de processamento identificadas na tabela 5, procedeu-se aos ensaios de acordo com o desenho de experiências levado a efeito por recurso ao método de Taguchi, ver tabela 6.

Referente ao tempo de manutenção, foram usados 3 níveis, de forma a avaliar o efeito da variação deste parâmetro face aos requisitos do cliente.

- Tempo de manutenção 1 - 5 s;
- Tempo de manutenção 2 - 10 s;
- Tempo de manutenção 3 - 15 s;

Relativamente à temperatura do molde, foram usadas três condições:

- Temperatura do molde 1 – Condição atual de produção
- Temperatura do molde 2 – Temperatura mínima do molde recomendada 20°C, ver tabela 5.

- Temperatura do molde 3 – Temperatura de processo do molde recomendada 40°C, ver tabela 5.

Tabela 5 - Condições de processamento recomendadas do PHC26 [21].

Temperatura de injeção	230 °C
Temperatura máxima do molde (recomendada)	60 °C
Temperatura mínima do molde (recomendada)	20 °C
Temperatura máxima de injeção (recomendada)	270 °C
Temperatura mínima de injeção (recomendada)	220 °C
Temperatura máxima absoluta de injeção	300 °C

No que diz respeito às temperaturas de injeção, estas variam entre:

- Temperatura 1 – 200°C – Condição de referência;
- Temperatura 2 – 220°C – Temperatura mínima recomendada do fornecedor, ver condições de processamento, tabela 5.
- Temperatura 3 – 230°C – Temperatura de processamento recomendada reportadas pelo fornecedor, tabela 5.

O perfil de velocidade no movimento de avanço utilizado manteve a mesma tendência do perfil adotado na produção, variando apenas a velocidade do mesmo, para o mesmo curso como se pode visualizar na figura 29.

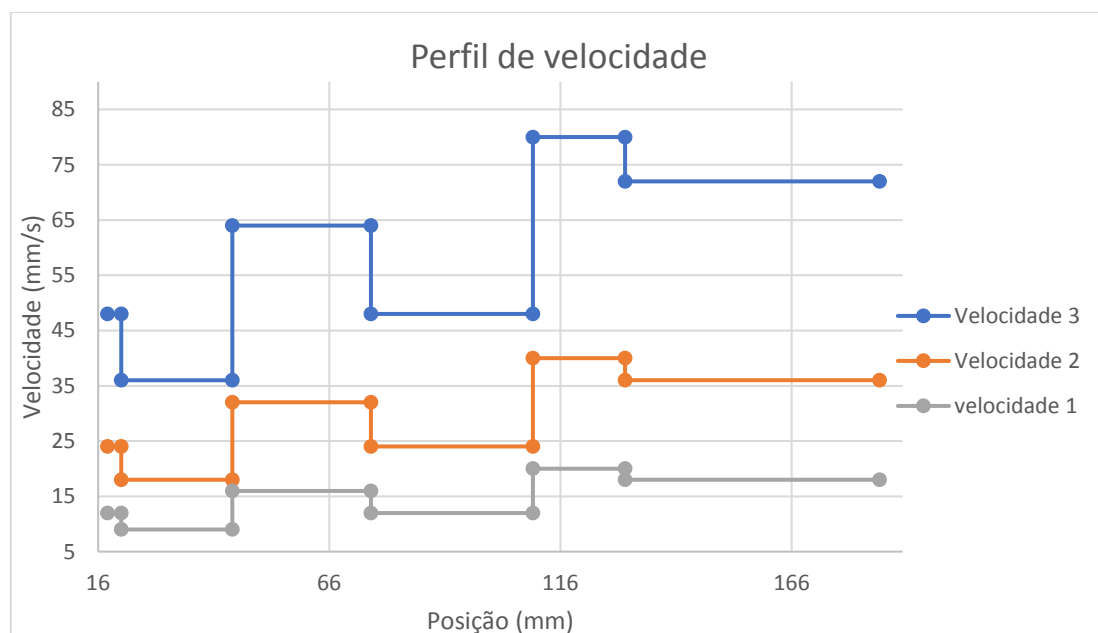


Figura 29 - Perfis de velocidades

Realizou-se o ensaio experimental com a matriz L9, onde se pretendeu avaliar, a partir da análise da variância, qual fator que influenciava a qualidade da peça final.

Na tabela 6, é apresentada uma síntese geral da variação de cada parâmetro no respetivo ensaio.

Tabela 6 - L9 Taguchi

Ensaio	Velocidade de injeção	Temperatura do molde(°C)	Temperatura injeção(°C)	Tempo manutenção (s)
1	Perfil de velocidade 1	50-20	200	5
2	Perfil de velocidade 1	20	220	10
3	Perfil de velocidade 1	40	230	15
4	Perfil de velocidade 2	50-20	220	15
5	Perfil de velocidade 2	20	230	5
6	Perfil de velocidade 2	40	200	10
7	Perfil de velocidade 3	50-20	230	10
8	Perfil de velocidade 3	20	200	15
9	Perfil de velocidade 3	40	220	5

De uma forma geral, para cada ensaio, foram recolhidas três peças, correspondendo a três injeções consecutivas, para aumentar a margem e a fiabilidade das observações posteriores e prevenir possíveis desvios das condições introduzidas. Durante os nove ensaios foram obtidas 27 peças por injeção.

## 4. Análise experimental/Discussão

Neste capítulo será realizada uma discussão global dos resultados de maior relevância, designadamente os resultados do ensaio experimental bem como as metodologias *Lean* aplicadas.

Após a realização do ensaio experimental, as peças foram separadas e analisadas de forma a lhes serem atribuídas a respetiva assinatura de qualidade. A Tabela 7, resume as médias estabelecidas para cada ensaio.

Tabela 7 - Médias para cada ensaio

	Desvio percentual (%)	Brilhos	Incompletos
Ensaio 1	1,08	1,00	1,00
Ensaio 2	0,49	3,83	1,00
Ensaio 3	0,73	4,00	2,33
Ensaio 4	0,94	1,67	1,00
Ensaio 5	0,12	5,00	1,00
Ensaio 6	1,44	3,33	1,00
Ensaio 7	1,02	2,33	2,33
Ensaio 8	0,45	5,00	1,00
Ensaio 9	1,35	4,00	2,67

Procedeu-se à análise da variância (ANOVA) por forma a verificar o efeito que cada fator detém no resultado final. Deste modo, obteve-se a variância de cada variável e o erro de cada fator e foi calculado o valor F.

Os valores de F calculados para cada tipo de defeito ver tabela 8, foram comparados com os valores F tabelados para um nível de confiança de 95%, tendo em conta os graus de liberdade de cada fator e do erro, para este caso o valor de F tabelado é 5,14 (Anexo 3).

Para as variáveis cujo valor de F calculado foi inferior ao valor de F tabelado, considerou-se que tal não teria representatividade para efeitos de aferição de qualidade final da peça.

- **Análise do desvio percentual da dimensão entre encaixe**

Tabela 8 - Desvio percentual da dimensão entre encaixe

Tabela ANOVA – Desvio percentual da dimensão entre encaixe					
	GL	SQ	QM	Valor F	Valor P
Velocidade	2	0,04596	0,02298	0,09	0,912
Erro	6	1,47901	0,2465		
Temperatura do molde	2	1,1394	0,56971	8,87	0,016
Erro	6	0,3856	0,06426		
Temperatura do material	2	0,2285	0,1143	0,53	0,614
Erro	6	1,2964	0,2161		
Tempo de manutenção	2	0,1111	0,05553	0,24	0,797
Erro	6	1,4139	0,23565		

Analisando os resultados da ANOVA para o desvio percentual da cota crítica em relação ao valor alvo definido pelo cliente, verifica-se que, apenas que a variável temperatura do molde tem influência significativa na peça final onde o F calculado é superior ao tabelado ( $8,87 > 5,14$ ).

Pode-se concluir a partir do gráfico apresentado na figura 30, onde se apresenta a análise da variância para as temperaturas do molde, que o valor ótimo para se diminuir a variação da percentagem da cota crítica em relação ao valor seria uma temperatura do molde 2 (ou seja, igual a 20 °C). Tal resultado é, de certo modo, expectável dada a natureza do material processado onde o arrefecimento da peça (através das linhas de água a uma temperatura mais baixa) coadjuvado pelos insertos de ampcó em partes estratégicas da peça, acabam por propiciar um arrefecimento mais balanceado, contribuindo para uma maior estabilização dimensional da peça.

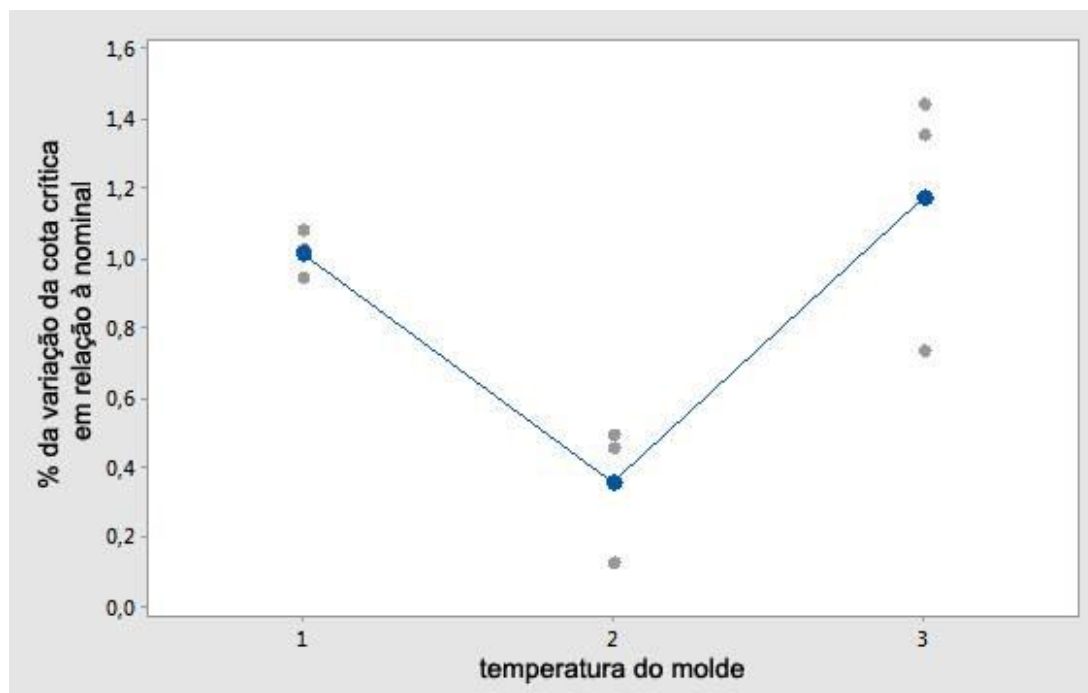


Figura 30 - Gráfico de análise da variância

- Análise do aparecimento de diferenças de brilhos**

Tabela 9 - Aparecimento de brilhos

Tabela ANOVA – Aparecimento de brilhos					
	GL	SQ	QM	Valor F	Valor P
Velocidade	2	1,043	0,5216	0,21	0,816
Erro	6	14,87	2,4784		
Temperatura do molde	2	13,821	6,9105	19,81	0,002
Erro	6	2,093	0,3488		
Temperatura do material	2	0,821	0,4105	0,16	0,853
Erro	6	15,0926	2,5154		
Tempo de manutenção	2	0,2284	0,1142	0,04	0,958
Erro	6	15,6852	2,6142		

Analisando os resultados da ANOVA para o aparecimento de brilhos, tabela 9, verifica-se que apenas a variável temperatura do molde tem influência significativa na peça final, onde o F calculado é superior ao tabelado ( $19,81 > 5,14$ ), sendo o valor ótimo a temperatura do molde em processamento (temperatura do molde 1), ver figura 31.

Pode-se concluir, por este resultado em particular, embora pouco conclusivo, que o molde a trabalhar a temperatura mais elevadas, favorece a diminuição do aparecimento de diferenças de brilho. O que de algum modo parece fazer sentido, uma vez que, esse efeito, pode dever-se a um maior controlo da deformação sofrida pelo polímero durante o enchimento, típica de enchimentos a mais altas temperaturas (viscosidade mais baixa) e por diminuição da diferença de temperatura entre o polímero e a interface molde/material. No entanto, deve ainda mencionar-se um outro efeito que talvez possa ocorrer e que se prende com o aumento de temperatura *in-situ* quando o molde se encontra a temperaturas mais baixas, e que se devem essencialmente a efeitos térmicos locais gerados por atrito de um polímero com muito mais dificuldades de progredir na frente de enchimento.

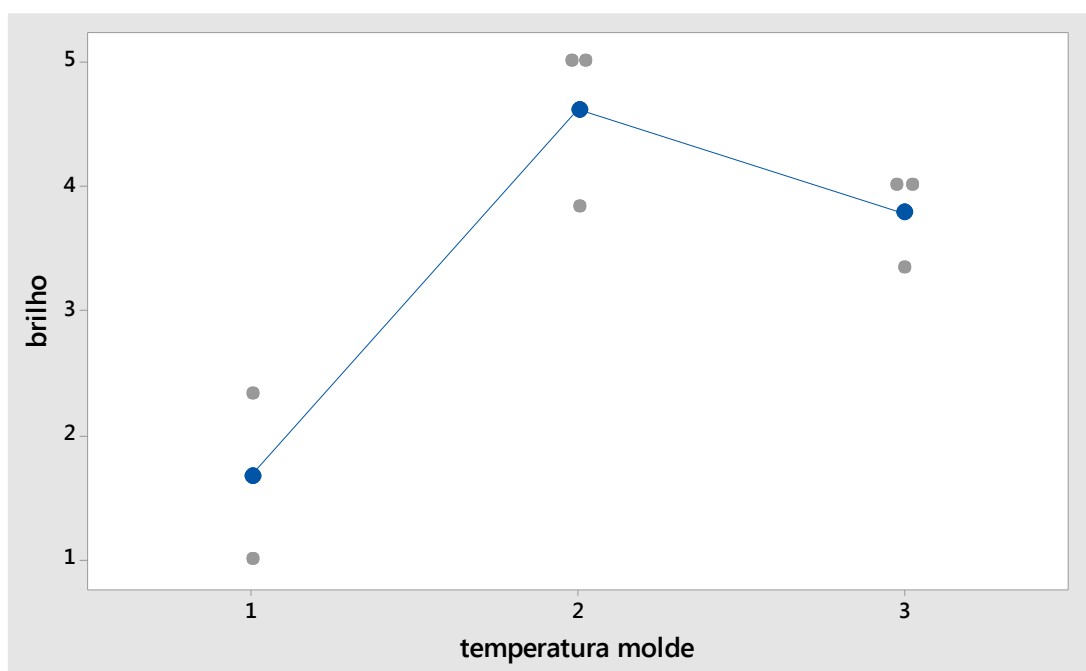


Figura 31 - Gráfico de análise da variância para o aparecimento de brilhos



- **Análise do aparecimento de peças incompletas**

Tabela 10 - Peças incompletas

Tabela ANOVA- Peças incompletas					
	GL	SQ	QM	Valor F	Valor P
Velocidade	2	1,506	0,7531	1,65	0,269
Erro	6	2,741	0,4568		
Temperatura do molde	2	1,506	0,7531	1,65	0,269
Erro	6	2,741	0,4568		
Temperatura do material	2	1,21	0,6049	1,2	0,366
Erro	6	3,037	0,5062		
Tempo de manutenção	2	0,02469	0,01235	0,02	0,983
Erro	6	4,22222	0,7037		

Relativamente à análise da ANOVA para o aparecimento de peças incompletas, a contribuição das variáveis de controlo na qualidade das peças é muito baixa, não sendo possível retirar conclusões relativamente ao aparecimento de peças incompletas.

#### 4.1. Metodologias de melhoria contínua aplicadas

Durante este capítulo serão apresentadas as metodologias de melhoria contínua aplicadas no caso de estudo, bem como uma análise ao benefício que essas implementações trouxeram na otimização da produção.

#### 4.1.1. Implementação dos 5S

A utilização da metodologia 5S permitiu a organização do armazém das ferramentas, a criação de um melhor ambiente de trabalho, o aumento da produtividade e a diminuição da probabilidade de ocorrência de erros.

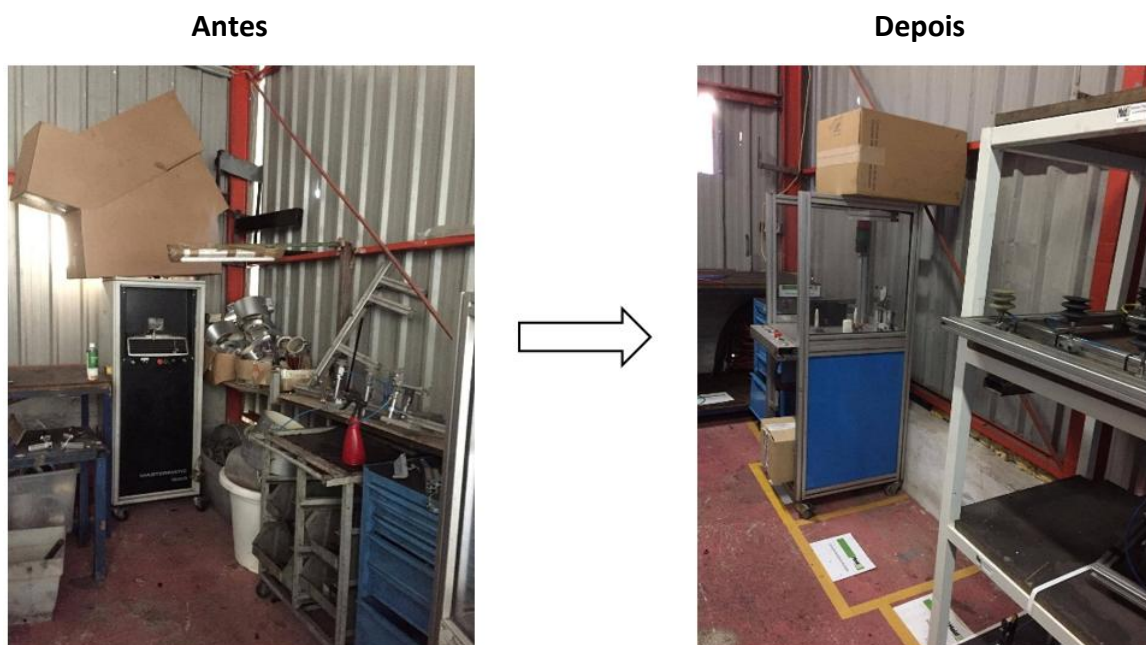
Os colaboradores têm de ser consciencializados para esta filosofia, deve fazer parte do seu dia-a-dia, pois só assim se conseguirão obter melhorias.

##### ***Seiri (Organização)***

Nesta fase identificaram-se os materiais, equipamentos e ferramentas, necessários e desnecessários. Separou-se claramente o necessário do desnecessário e eliminou-se o último.

##### ***Seiton (Arrumação)***

Depois de uma primeira arrumação do armazém de ferramentas, onde se retirou tudo o que não é necessário para a realização das tarefas, foram definidos os locais apropriados e os critérios para a organização dos materiais, equipamentos e ferramentas, de modo a facilitar o seu uso, procura, localização e arrumação por qualquer pessoa. As ferramentas e os equipamentos foram arrumados e dispostos de modo a permitirem um melhor fluxo de trabalho. Os três casos da figura 32, apresentam os resultados obtidos das técnicas *Seiri* e *Seiton*.



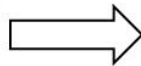
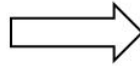


Figura 32 - Exemplos de implementação dos 5S

### ***Seiso (Limpeza)***

Nesta fase, os locais de trabalho, encontram-se organizados e têm apenas o que é necessário, nas quantidades necessárias. A limpeza, na Moldit, é uma atividade frequente.

### ***Seiketsu (Padronização)***

Na quarta fase dos 5S, é importante que todos os colaboradores estejam conscientes de que o local de trabalho tem que de estar limpo, organizado, ter de

respeitar os outros colaboradores, colaborar e, sobretudo, eliminar as condições de insegurança no trabalho.

### ***Shitsuke (Disciplina)***

A última fase da metodologia 5S, onde se pretende assegurar a sua manutenção através da comunicação, formação e autodisciplina é o passo final para completar a introdução desta metodologia. É necessário continuar a dar formação aos trabalhadores e criar o hábito de fazerem sempre tudo em conformidade com as regras.

## **4.1.2. Implementação do SMED**

Cada vez mais o mercado exige produtos diversificados. Constatase que o número de *setups* vai ter tendência a aumentar de uma forma drástica devido à situação de mercado.

Ao analisar a troca de ferramenta, verificou-se que o tempo despendido era incerto, ou seja, este tempo tanto poderia ser de duas horas como de cinco horas. Não existia controlo nem procedimentos definidos. Os operadores não tenham sensibilidade para otimizar a tarefa, sendo o importante trocar independentemente do tempo despendido.

Como tal, a filosofia que se vai implementar ambiciona produzir lotes cada vez mais pequenos e as mudanças de moldes serem cada vez mais frequentes.

Nesta fase do projeto o objetivo é criar todas as condições necessárias para a redução do tempo de *setup*, definir procedimentos, padronizar ferramentas, separar as etapas externas das internas.

### **4.1.2.1. Formação juntos dos colaboradores**

Nesta etapa foi dada uma formação aos colaboradores sobre o conceito e o funcionamento do SMED, dando assim a conhecer as vantagens adquiridas pela empresa assim como as vantagens para os colaboradores:

- Aumento da produtividade;
- Evitar o desgaste físico;
- Melhorar a execução das operações de *setup*;
- Aprender um novo conceito de trabalho.

É normal que os colaboradores no início fiquem inseguros, receosos ou desconfiados quando estão a ser observados e cronometrados, caso não saibam exatamente qual o objetivo do estudo, mas com o decorrer deste, acabaram por dar sugestões sobre como se poderia tentar melhorar o processo de *setup* ajudando com a implementação e otimização do processo.

#### 4.1.2.2. Aplicação das técnicas de SMED

Na Moldit não havia registo relativamente aos tempos de *setup*, como tal avançou-se com a medição de valores, representados na figura 33. Como o prazo para concluir o caso de estudo era curto (quatro meses), não houve hipóteses de tirar mais do que um valor de medição do *setup*, como tal assume-se este valor como a base inicial do trabalho, sabendo de antemão que se teriam erros associados, onde o objetivo de tempo para a mudança de molde é de 60 minutos.

Numero da tarefa	Tarefa IN/EX			tempo parcial	tempo total
1	In	Desmontagem	Ir buscar ponte e meter correntes	01:30	00:01:30
2	In		Meter molde novo mais perto	05:50	00:07:20
3	In		Posicionar ponte para extrair molde	00:30	00:07:50
4	In		Ir buscar panos	00:10	00:08:00
5	In		fechar aguas	00:10	00:08:10
6	In		tirar mangueiras (água e hidráulicas)	03:55	00:12:05
7	In		Ir buscar protecto molde e chaves	00:25	00:12:30
8	In		Colocar oleo protector no molde	00:55	00:13:25
9	In		fechar molde	00:15	00:13:40
10	In		Prender ponte rolante ao molde	01:00	00:14:40
11	In		Desapertar molde lado operador	02:00	00:16:40
12	In		ir buscar chaves	00:10	00:16:50
13	In		colocar barra de segurança	00:30	00:17:20
14	In		Desapertar molde lado oposto operador	02:00	00:19:20
15	In		Desapertar KO da máquina	02:10	00:21:30
16	In		Abrir máquina	00:20	00:21:50
17	In		Desapertar KO molde	00:55	00:22:45
18	In		Tirar Molde	02:10	00:24:55
19	In	Montagem	ir buscar molde novo	01:50	00:26:45
20	In		medir anilha de centragem	00:25	00:27:10
21	In		colocação do molde na maquina 1min	01:00	00:28:10
22	In		centragem	04:10	00:32:20
23	In		Fechar máquina (faltava o chefe)	00:45	00:33:05
24	In		Apertar molde	10:10	00:43:15
25	In		Tirar barra de segurança lado oposto operador	00:40	00:43:55
26	In		Tirar barra de segurança lado operador	01:00	00:44:55
27	In		Desapertar e tirar ponte rolante do molde	02:00	00:46:55
28	In		Prender ponte rolante ao molde antigo	00:20	00:47:15
29	In		tempo morto ( a espera do chefe)	00:20	00:47:35
30	In		Guardar molde antigo	04:30	00:52:05
31	In		Ir buscar mão presa	01:00	00:53:05
32	In		Abrir máquina, estava botão de segurança activado(teve atraso)	01:10	00:54:15
33	In		ligação electrica, micros, sonda e resistencia	01:40	00:55:55
34	In		ligar aquecimento na maquina	00:20	00:56:15
35	In		ligações hidráulicas e de água( procurar mangueiras)	12:05	01:08:20
36	In		Abrir água, mangueiras com problemas orings...fechar águas	01:50	01:10:10
37	In		Tirar mangueiras estragadas e meter outras	02:00	01:12:10
38	In		Ligar sistema de água quente	01:20	01:13:30
39	In		Procurar da chaves para apertar o bico	11:05	01:24:35
40	In		Apertar bico e colocar resistencia ir buscar chaves de aperto bicos	06:35	01:31:10
41	In		trocar material	04:50	01:36:00
42	In		Limpar molde	02:45	01:38:45
43	In		desapertar porta rotulos e mão presa, molde antigo	03:55	01:42:40
44	In		ligar alimentador termonha	00:15	01:42:55
45	In		Apertar mão presa	01:30	01:44:25
46	In		Arrumar porta rotulos antigo	00:40	01:45:05
47	In		arrumar ferramentas	00:20	01:45:25
48	In		limpar fuso	07:05	01:52:30
49	In		verificar movimentos molde e retificação de uma mangueira	01:00	01:53:30
50	In		ponto zero e primeira afinação	04:45	01:58:15
51	In		afinar robot	03:00	02:01:15
52	In		Problemas com bico, nova afinação	08:55	02:10:10

Figura 33 - Levantamento de dados

Seguindo as fases concetuais do SMED sugeridas por Shingo:

Na Fase inicial, através da observação e cronometragem, fica-se a conhecer detalhadamente as atividades envolvidas, a sequência efetuada das mesmas e o seu tempo de *setup* na operação tal como mostra a figura 33. Nesta altura como se observa, era tudo feito como tarefa interna.

Como se pode verificar na figura 33, não existe diferença nenhuma entre as tarefas internas e externas. Existem operações como desligar/ligar mangueiras, apertar molde, colocação de protetor de molde, que não se podem eliminar, só melhorar, no

entanto outras como ir buscar ferramentas, guardar molde antigo, medir anilha de centragem, arrumar ferramentas, podiam ser convertidas a tarefas externas.

As Fase 1 e 2 foram executadas em simultâneo. A Fase 1 consistiu na separação das tarefas feitas inicialmente como interna que facilmente passavam a externas. Na Fase 2, foi elaborada uma folha de pré-preparação (Anexo 1). Assim, antes da produção acabar para posterior mudança de molde o colaborador efetua um conjunto de tarefas a par da produção de forma a minimizar alguma operação de *setup*.

Durante a Fase 2, teve de se proceder à normalização das mangueiras da água, e à criação de uma zona para as mangueiras para manutenção.

Numa fase posterior avançou-se com a compra de um nível digital com íman, representado na figura 34, para diminuir o tempo de centragem do molde e as operações efetuadas durante a mesma. Adquiriu-se ainda, um carrinho para servir de apoio e transporte de mangueiras, implementou-se 5S no armazém de ferramentas, que se explicará com maior detalhe na seção seguinte.



Figura 34 - Nível digital com íman

#### 4.1.2.3. Resultados da implementação SMED

Após a aplicação das medidas propostas obteve-se um tempo de *setup* de aproximadamente de 43 minutos, como se apresenta na tabela 11.



Tabela 11 - Tempo de *setup*

Número de tarefas					
1	Desmontagem	Fechar águas e soprar	02:00		
2		Tirar mangueiras água	05:05	Colocar protetor	00:35
3				Colocação ponte rolante	00:30
4		Fechar moldes	00:20		
5		Desapertar Ko's	01:30	Fixação molde-ponte rolante	00:25
6		Desapertar molde lado operador	01:20	Desapertar molde oposto operador	01:20
7		Apertar barra de segurança	00:50		
8		Tirar molde	02:10		
9	Montagem e Arranque	Colocação molde novo	02:30		
10		Centragem	01:30		
11		Fecho máquina/ zero máquina	01:30		
12		Fixação molde lado operador	01:30	Fixação molde lado oposto operador	01:50
13		Tirar barra de segurança	00:20		
14		Desapertar ponte Rolante	00:55		
15		Ponto zero	00:15		
16		Abrir Molde	00:10		
17		Ligação mangueiras água/Óleo	11:00	Troca de mão presa	04:20
18		Limpeza de fuso	03:20		
19		Afinação	06:50		
20		Tempo total		43:05	

Comparando este valor de *setup* com o da figura 33, tem-se uma redução de 67% do tempo total (130 minutos). Este tempo pode ser aproveitado em tempo de trabalho efetivo da máquina e produção.

A máquina injetora KraussMaffei 1600 tem um custo por hora de 150 €, assim na tabela 12 é possível ver os gastos desta máquina para cada tempo de *setup*:

Tabela 12 - Tempo de *setup* vs. custos

	Custo de <i>setup</i>
Tempo <i>setup</i> inicial (130 minutos)	325 €
Tempo <i>setup</i> atual (43 minutos)	107,5 €

Com esta implementação, os custos associados ao *setup* diminuem de 325 € para 107,5€, tornando, deste modo, a empresa mais competitiva.

#### 4.1.3. Otimização do fluxo de informação da produção

No início deste caso de estudo, reparou-se que o registo de informação da produção não era o mais adequado, figura 35, muito devido a perda de informação,



erros na informação e/ou falta de informação no transporte, movimentação e arquivo das folhas de produção ou falha nas contagens das peças, o que implicava desperdício de tempo de execução das tarefas de entrada da produção manualmente e arquivo de informação, planeamento de produção feito em base de informação muitas vezes não precisa.

Mold II REGISTO DE PRODUÇÕES (Ordem de Produção)														N.º		Data Prevista Fim Produção											
MOLDE N.º														Encomenda Cliente N.º		Prazo Entrega											
MÁQUINA														PROJECTO		CLIENTE											
MATERIA PRIMA														REF.ª		CORANTE		% Mistura		ESTUFA		Horas		°c (Temperatura)			
TOTAL PEÇAS A PRODUZIR														Caixas		Paletes		OBJECTIVOS PRODUÇÃO		Rejeições		Cadencia		(Conformes + Rejeitadas)			
DATA		TURNO		OPERADOR		EMBALAGEM		TOTAL CAIXAS		ASTREABILIDADE (Nº. Lote ou Data de Fabrico - Matérias Prima, Corantes e Acessórios)										OBSERVAÇÕES							
						INICIO		FIM		Conformes		Rejeitadas		Mat. Prima		Corante											

Mold II REGISTO DE PARAGENS																																											
MOLDE N.º				NOME DO PROGRAMA MÁQUINA										NOME DO PROGRAMA ROBOT										Desmont. Molde Anterior			Montagem Molde			Nº Peças Rejeitadas / Aprovação da 1ª Peça													
MÁQUINA																								Início			Fim			Tempo (h)			Início			Fim			Tempo (h)				
DATA		HORA		Tempo Paragem (h)		A - Aviação Molde		B - Aviação Máquina		C - Falta M.P.		D - Falta Acessórios		E - Espera Afinação		F - Falta de Energia		G - Falta Embalagem		H - Falta Operador		I - Mudança Cor		J - Mudança Versão		K - Afinação		L - Limpeza		M - Falta de Planeamento		N - Aviação Robot		P - Atravessamento		Q - Retorno / Pausa		Outros		OBSERVAÇÕES			
		Início		Fim																																							

Figura 35 - Registo de informações

Para combater estes problemas, a empresa avançou para a implementação de um sistema de gestão integrado, com o objetivo de eliminar os processos manuais de gestão, diminuição do tempo de execução das tarefas, padronização dos processos e melhoria do fluxo da informação, aumentando a qualidade, a produtividade e o tempo de resposta aos clientes.

O software *Mattec*, fornecido pela Epicor, sendo um software *user-friendly*, representado na figura 36, foi o escolhido pela empresa visto deter as valências necessárias para execução dos objetivos preconizados.

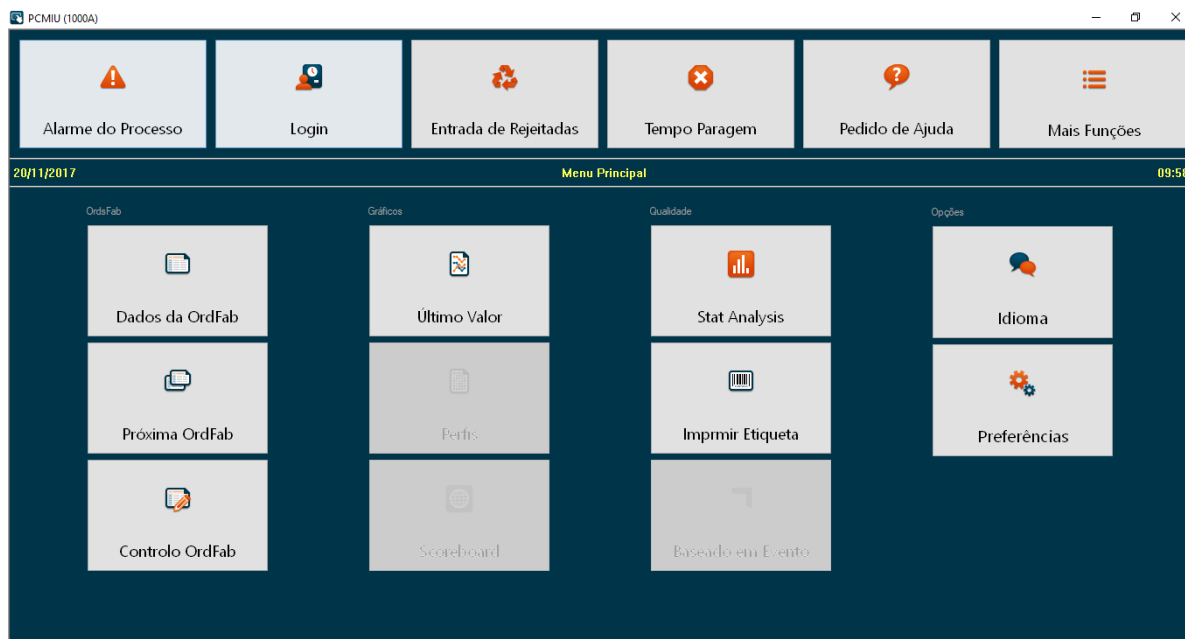


Figura 36 - Painel do Mattec

A sua implementação foi feita por fases. Numa fase inicial efetuou-se uma aprendizagem autodidata, em seguida avançou-se com a instalação do mesmo no chão de fábrica, seguindo-se uma formação teórica junto dos colaboradores para efeitos demonstrativos do seu funcionamento, bem como das vantagens que oferece não só para a empresa como também para os colaboradores.

Numa fase posterior foi colocada uma meta relativamente à sua implementação, e definiu-se um tempo de transição de 3 meses, seguindo-se, durante a fase de transição, uma formação diária junto dos colaboradores.

Conseguiu-se no final da implementação melhorar a produtividade e tempo de reação da equipa, obter informações relativas ao fabrico durante 24 horas por dia, 7 dias por semana, ver figura 37, em todas as operações da instalação fabril, melhorando assim o planeamento.

Com isto, conseguir-se-á, impulsionar o crescimento do negócio reduzindo o tempo de inatividade e peças rejeitadas, melhorando o tempo de ciclo e consequentemente a eficiência laboral.

Real-Time Display (ProHelp) - [Imagem de Tempo Real]

Ficheiro Ver Aplicações Ajuda

Machine Number	Part Number	Help Call	Good	Cycle Count	Scrap	To Go	Hours To Go	Actual Speed	Std Cycle Per Hour	Yield Eff	ACT SPC CAV Alarm	Down Description	Hours To Go
Geral - Injeção													
1000A	PPAMTRASPO0100003		92	5239	0.0 %	-7530		108.20	70.00	33.3	69.2 %	4	0:00
1000A	PPAMTRASPO0100004		92	5239	0.0 %	-7536		108.20	70.00	33.3	69.2 %	4	0:00
1000B	PIDORLOWERBASESPUB	Qualidade	28	2941	0.0 %	652		86.00	90.00	41.9	109.0 %	1	16:26
1000C	PPSIMI05815035001A	Qualidade	46	1405	0.0 %	6110		53.80	54.00	66.9	106.6 %	1	95:39
1000C	PPSIMI05815034001A	Qualidade	46	1405	0.0 %	6109		53.80	54.00	66.9	106.6 %	1	95:34
1000C	PPSIMI05815017001A	Qualidade	46	1405	0.0 %	6109		53.80	54.00	66.9	106.6 %	1	95:34
1000C	PPSIMI05815016001A	Qualidade	46	1405	0.0 %	6110		53.80	54.00	66.9	106.6 %	1	95:39
1600													
200	PPDOROUTERLEGBLACK		32	10644	0.0 %	3064		53.90	58.56	66.8	80.7 %	1	53:12
3200													
420	PIDORASACTISPUB		24	1134	0.0 %	3882		98.80	90.00	36.4	94.8 %	1	111:41
650A	PPDORLEGBODYBLACK		72	2849	0.0 %	2317		66.20	55.00	54.4	86.5 %	2	21:00
650B	PPDORUPPERBASEBLAC		32	1217	0.0 %	3791		69.20	55.00	52.0	75.0 %	1	74:22

Figura 37 - Painel de gestão com informação em tempo real

## 5. Conclusões e sugestões

Após a realização do trabalho exposto ao longo desta dissertação é possível retirar conclusões que permitem compreender o processo de injeção e quais os fatores que influenciam a qualidade final do produto obtido, bem como a importância da otimização de todo o processo produtivo.

Foi implementada a metodologia 5S, onde se conseguiu fazer uma organização no armazém das ferramentas, mantendo só as ferramentas necessárias para as tarefas do dia a dia dos colaboradores. Estas foram colocadas num sítio estratégico de fácil acesso e visibilidade. Assim, os colaboradores não perdem tempo à procura da ferramenta de que necessitam. Pretende-se que os colaboradores continuem com este sistema.

Através da aplicação e implementação de metodologias de planeamento e organização (quer Taguchi para Desenho de Experiências a um nível mais fundamental, quer SMED a um nível mais estruturante), é possível verificar que em qualquer setor industrial é possível beneficiar de técnicas de organização do trabalho, conducentes à melhoria contínua de produtos e processos.

Após análise dos resultados experimentais (DOE), conclui-se que há uma influência da temperatura do molde, no desvio da cota em relação a nominal e no aparecimento de diferenças de brilhos.

A partir da análise do gráfico da análise da variância para a temperatura do molde figura 30, verificou-se que temperaturas do molde inferiores, diminuem a variação do desvio da cota analisada. Isto revela que para o mesmo tempo de arrefecimento, temperaturas do molde mais baixas favorecem o controlo das cotas críticas, podendo esse efeito dever-se a um arrefecimento mais balanceado. Também a temperatura do molde tem influência no aparecimento de diferenças de brilhos no produto final, indo de acordo à conclusão estabelecida por Hsin-Chung Chegg [10]. No entanto, a análise relativamente ao aparecimento de peças incompletas, foi inconclusiva.

Deste trabalho em particular conclui-se que, embora a injeção científica seja pertinente e uma mais-valia na otimização de um processo de fabrico em curso, a mesma seria muito mais interessante levar a efeito como ferramenta de apoio ao desenvolvimento da ferramenta moldante, mesmo se realizada em ambiente virtual. Nessa impossibilidade, esta metodologia de trabalho deveria ser instituída na fase de testes de operabilidade do molde, como metodologia de afinação do processo de obtenção de peças de qualidade e minimização de tempo de ciclo.

No que concerne a implementação de SMED, conseguiu-se aplicar uma diminuição de tempo de *setup* de 130 minutos para 43 minutos. Com esta redução a empresa poupa 200€ em cada *setup*, tornando-se assim mais ágil na produção de lotes mais pequenos e apta às variações e exigência do mercado, que cada vez são maiores. Contudo, relembra-se que a aplicação destas metodologias teria um maior impacto, se implementada em toda a organização, e não apenas num setor produtivo.

Apesar da satisfação do cliente, isso não retira a pertinência do estudo sobre este produto, com o objetivo de futuramente a empresa conseguir ser mais ágil no mercado diminuindo os desperdícios associados ao processo.

## 6. Referências Bibliográficas


- [1] KRAUSS MAFFEI - **Principles of Application Techonogy and Installation of Injection Molding Machines**. 1.<sup>a</sup> ed. [S.l.] : Krauss Maffei, 2009. 158 p.
- [2] BRITO, A. [et al.] - **Manual do projetista para moldes de injeção de plástico**. 1.<sup>a</sup> ed. Marinha Grande : CENTIMFE, 2003. ISBN 9729887217.
- [3] ROSATO, D. V. [et al.] - **Injection Molding Handbook**. 3.<sup>a</sup> ed. Massachusetts : Kluwer Academic Publishers, 2000. 1460 p. ISBN 0-7923-8619-1.
- [4] KULKARNI, S. - **Robust process development and scientific molding**. 2.<sup>a</sup> ed. [S.l.] : Hanser Publications, 2010. 256 p. ISBN 978-3-446-42275-9.
- [5] RAM, A. - **Fundamentals of Polymer Engineering**. New York : Plenum Press, 1997. 237 p. ISBN 9781489918222.
- [6] POUZADA, A. S. - **Processing, Design, and Performance of Plastics Products**. In Gilbert, M. - *Brydson's Plastics Materials*. 8.<sup>a</sup> ed. ISBN 9780323358248. p. 205–246.
- [7] MENGES, G.; MICHAELI, W.; MOHREN, P. - **How to Make Injection Molds**. 3.<sup>a</sup> ed. Munich : Hanser Publishers, 2001. 632 p. ISBN 978-3-446-21256-5.
- [8] CHENG, H.-C. [et al.] - Brightness field distributions of microlens arrays using micro molding. **Optics Express**. ISSN 1094-4087. 18:26 (2010) 26887–26904.
- [9] LYONDELLBASELL - **A Guide to Polyolefin Injection Molding** [Em linha]. [S.l.] : LyondellBasell Industries NV, 2009. [Consult. 20 Jan. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <https://www.lyondellbasell.com/globalassets/documents/polymers-technical-literature/a-guide-to-polyolefin-injection-molding.pdf?id=13940>>.
- [10] HECKELE, M.; SCHOMBURG, W.K. - *Review on micro molding of thermoplastic polymers*. **Journal of Micromechanics and Microengineering**. 14:3 (2004).
- [11] FERNANDES, A. [et al.] - Influência da “Velocidade de Injeção” e “Tempo de Recalque” nas Características de Peças Injetadas em Polipropileno. **6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação** [Em linha]. (2011). [Consult. 2 Mar. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0305.pdf>>.
- [12] ZHILTSOVA, T. - **Otimização do processo de moldação para obtenção de peças microestruturadas**. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2013. 207 p. Tese de doutoramento.
- [13] ZHILTSOVA, T.; NETO, V.; FERREIRA, J.; OLIVEIRA, M. - On the suitability of the conventional injection moulding process for micro featured parts replication—a DOE approach. **ICIT & MPT 2009 International Conference, Ljubljana, Slovenia** [Em linha]. (2009) 4–7. [Consult. 2 Mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <https://ria.ua.pt/handle/10773/21147>>. ISSN 978-961-6692-01-4.


- [14] GARCIA-DIAZ, A.; PHILLIPS, D. T. - **Principles of experimental design and analysis**. London : Chapman & Hall, 1995. 408 p. ISBN 0-412-60570-8.
- [15] CASTRO, P. - **Método de Taguchi: Controlo de qualidade com recurso não convencional ao desenho estatístico de experiências (DOE)** [Em linha]. [Consult. 17 Mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL: [https://www.ine.pt/ngt\\_server/attachfileu.jsp?look\\_parentBoui=106704&att\\_display=n&att\\_download=y](https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=106704&att_display=n&att_download=y)>.
- [16] SHINGO, S. - **Sistemas de Troca Rápida de Ferramentas: Uma revolução nos sistemas produtivos**. 1.ª ed. Porto Alegre : Bookman, 2000. 328 p.
- [17] LIKER, J. - **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. 1.ª ed. [s.l.] : Bookman, 2005. 320 p. ISBN 9788536304953.
- [18] RODRIGUES, M. - **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo, sistemas de produção Lean Manufacturing**. 1.ª ed. [s.l.] : Elsevier, 2014. 100 p. ISBN 978-85-352-6117-2.
- [19] WOMACK, J.; JONES, D.; ROSS D. - **The Machine that changed the World**. 1.ª ed. [s.l.] : Simon Schuster UK Ltd, 2007. ISBN 0060974176.

# Anexos

## Anexo 1

Tabela 13 - Folha de pré-preparação

		Ficha de preparação montagem						check:
Molde	2231	Designação peça:	PIDORSHEL11868902					
Máquina destino:	KM1600							
Aparelhos auxiliar:	Aquecimento:	NA	Nº zonas:	NA				
	IML:	NA						
	Aparelho sequencial	NA						
	Termorregulador	1						
	Gás:	NA						
Olhal	Quantidade:	2	Diâmetro:	M36				
Anilha de centragem:	Molde:	250	Máquina:	250				
Tipo de bico:	Direto:	NA	Misturador:	SIM				
Adaptador bico:	Maquina	M56	Bico	M45				
Fichas Elétricas:	Molde:	Maquina:	Necessário shunt:					
Aquecimento	16 pinos	16 pinos	NA					
Sonda	16 pinos	16 pinos	NA					
Switches	10 pinos	16 pinos	sim					
Tempo estufa	NA	Temperatura	NA	Massa (kg):	NA			
KO's	Quantidade	Rosca máquina	Rosca molde		Comprimento			
Central	NA	NA	NA		NA			
Outros	NA	NA	NA		NA			
Mangueiras Óleo, água e Ar:								
Quantidade	Designação*			Comprimento				
NA	Chantes pequeno/pequeno			-				
NA	Mangueiras água pequeno/pequeno			2Metros				
NA	Mangueiras água pequeno/pequeno			3Metros				
NA	Mangueiras água pequeno/pequeno			5Metros				
NA	Mangueiras água encaixe pequeno/grande			2Metros				
16	Mangueiras água encaixe pequeno/grande			3Metros				
14	Mangueiras água encaixe pequeno/grande			5Metros				
NA	Mangueiras água encaixe grande/grande			2Metros				
NA	Mangueiras água encaixe grade/grande			3Metros				
NA	Mangueiras água encaixe grande/grande			5Metros				
NA	Mangueiras água encaixe rápido			-				
2	Mangueiras de óleo c/terminal macho/fêmea			-				
2	Mangueiras de óleo c/terminal macho/macho			-				
NA	Mangueiras de óleo c/terminal fêmea/fêmea			-				
Mão presa	Shell							
Chaves	Bico	Chaves 65						

	Mão presa	Chaves 8 umbraque
	Barras de fixação	2 X Chaves 12 umbraque
Trazer o molde que vai entrar		
Preparar panos de limpeza e produto de limpeza molde		
Colocação protetor molde junto à máquina		
Colocação da ponte rolante sobre o molde		
Documento em teste		1/2
<div> <div>  <div> Ficha de preparação montagem </div> </div> <div> check: </div> </div>		
Ligações shunt		
<div> <div> <div></div> </div> <div> <div></div> </div> </div>		
* Pequeno = rtc type 08 grande = rtc type 12 **NA = Não aplicável		2/2



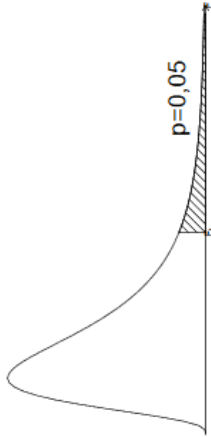
## Anexo 2

Tabela 14 - Folha de Procedimento

Tarefas antes da máquina parar	1ª	2ª
Verificar cada passo da folha de preparação e colocação dos acessórios junto à máquina	X	X
Localizar o molde que vai entrar.	X	X
Arranjar espaço para o molde que vai sair	X	X
Colocação protetor molde junto a máquina	X	X
Colocação da ponte rolante sobre o molde	X	X
Desmontagem		
Parar máquina	X	
Fechar águas		X
Soprar água		X
Colocar óleo protetor no molde	X	
Desligar mangueiras de água e hidráulicas		X
Prender ponte rolante ao molde	X	
Desapertar molde lado operador/desapertar molde lado oposto	X	X
Colocação barra de segurança	X	X
Abrir máquina	X	
Tirar moldes antigo	X	
Desapertar porta rótulos e mão presa, molde antigo		X
Trocar material		X
Apertar mão presa		X
Montagem		
Ir buscar molde novo e colocação do mesmo na máquina/colocação do nível a 0	X	X
Fechar máquina	X	
Apertar molde lado operador/apertar molde lado oposto	X	X
Tirar barras de segurança lado operador/Oposto	X	X
Desapertar e tirar ponte rolante do molde	X	
Colocação das ligações hidráulicas e água		X
Ligação da microsonda e resistência		X
Ligar aquecimentos máquina	X	
Ligar sistema de água quente		X
Apertar bico	X	
Abrir máquina	X	
Limpar molde	X	
Fechar molde	X	
Limpar fuso	X	

# Anexo 3

## Distribuição $F$ de Snedecor a 5% ( $p=0,05$ )



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18	20	30	40	60	120
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,42	19,43	19,43	19,44	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,71	8,70	8,69	8,67	8,66	8,62	8,59	8,57	8,55
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,87	5,86	5,84	5,82	5,80	5,75	5,72	5,69	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,64	4,62	4,60	4,58	4,56	4,50	4,46	4,43	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,96	3,94	3,92	3,90	3,87	3,81	3,77	3,74	3,70
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,53	3,51	3,49	3,47	3,44	3,38	3,34	3,30	3,27
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,24	3,22	3,20	3,17	3,15	3,08	3,04	3,01	2,97
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,03	3,01	2,99	2,96	2,94	2,86	2,83	2,79	2,75
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,86	2,85	2,83	2,80	2,77	2,70	2,66	2,62	2,58
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,74	2,72	2,70	2,67	2,65	2,57	2,53	2,49	2,45
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,64	2,62	2,60	2,57	2,54	2,47	2,43	2,38	2,34
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,55	2,53	2,51	2,48	2,46	2,38	2,34	2,30	2,25
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,48	2,46	2,44	2,41	2,39	2,31	2,27	2,22	2,18
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,42	2,40	2,38	2,35	2,33	2,25	2,20	2,16	2,11
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,37	2,35	2,33	2,30	2,28	2,19	2,15	2,11	2,06
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,33	2,31	2,29	2,26	2,23	2,15	2,10	2,06	2,01
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,29	2,27	2,25	2,22	2,19	2,11	2,06	2,02	1,97
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,26	2,23	2,21	2,18	2,16	2,07	2,03	1,98	1,93
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,22	2,20	2,18	2,15	2,12	2,04	1,99	1,95	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,20	2,18	2,16	2,12	2,10	2,01	1,96	1,92	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,17	2,15	2,13	2,10	2,07	1,98	1,94	1,89	1,84
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,15	2,13	2,11	2,08	2,05	1,96	1,91	1,86	1,81
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,13	2,11	2,09	2,05	2,03	1,94	1,89	1,84	1,79
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,11	2,09	2,07	2,04	2,01	1,92	1,87	1,82	1,77
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,09	2,07	2,05	2,02	1,99	1,90	1,85	1,80	1,75
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,08	2,06	2,04	2,00	1,97	1,88	1,84	1,79	1,73
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,06	2,04	2,02	1,99	1,96	1,87	1,82	1,77	1,71
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,05	2,03	2,01	1,97	1,94	1,85	1,81	1,75	1,70
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,04	2,01	1,99	1,96	1,93	1,84	1,79	1,74	1,68
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,95	1,92	1,90	1,87	1,84	1,74	1,69	1,64	1,58
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,86	1,84	1,82	1,78	1,75	1,65	1,59	1,53	1,47
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,78	1,75	1,73	1,69	1,66	1,55	1,50	1,43	1,35

Tabela 5: Quantis da Distribuição  $F$  para probabilidade  $p = P[F \geq F_p] = 0,05$ . Graus de liberdade do numerador dado no topo e do denominador na margem esquerda.

Figura 38 - Distribuição  $F$  de Snedecor a 5%